

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Zařízení pro paktování kovového odpadu

Equipment for metal waste bailing

Student:

Bc. Daniel Juchelka

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář

Ostrava 2016

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniel Juchelka**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**
Specializace: **20 Výrobní stroje a zařízení**
Téma: **Zařízení pro paktování kovového odpadu
Equipment for Metal Waste Bailing**

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Vypracujte projekčně-konstrukční návrh pakovacího lisu sloužícího k pakování lehkého kovového odpadu. Lis bude vybaven lisovním víkem, dolisem a hradítkem. K pohonu využijte hydraulické pohony.

Výchozí parametry:

Příčný průřez paketu	šxv 550x240 mm
Počet stupňů lisování	2
Tlak v hydraulickém obvodu	25 MPa
Střední měrná hmotnost paketu	cca 1400 kg.m ⁻³
Hmotnost paketu	cca 50 kg

Proved'te:

- stručné zhodnocení stávajícího stavu techniky v dané oblasti,
- zpracování možných variant a výběr nejlepšího řešení dle zvolených kritérií,
- technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného zařízení v návaznosti na výkresovou dokumentaci a výpočtovou část technické zprávy,
- projekční návrh kompletního řešení pakovacího lisu,
- detailní konstrukční propracování řešení lisovního víka, tlačky dolisu, lisovní skříně a hradítka včetně během zpracování určených konstrukčních uzlů,
- výkresovou dokumentaci v celkovém rozsahu min.2xA0.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce.*,
- [2] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura.* Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [3] SÝKORA M. a kol. : *Výrobní stroje a zařízení pro zpracování odpadu.* Interní učební text VŠB-TU, 1996
- [4] KSANDR J., JOHN M. : *Zpracování ocelového amortizačního šrotu* , SNTL Praha 1983
- [5] NĚMČEK, M.: *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů.* 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8.
- [6] LENERT J.: *Pružnost a pevnost I.* 1. vyd. - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996 - 140 s. : il. ISBN 80-7078-392-3
- [7] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.

- [8] Firemní literatura a podklady, odborné časopisy apod.
[9] Literární rešerše zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

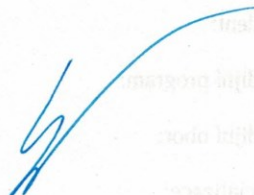
Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 12.5.2016

Daniel Juchelka

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 12. 5. 2016

Daniel Juchelka

Podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Daniel Juchelka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Těškovice 48, 747 64

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu doc. Dr. Ing. Ladislavu Kovářovi, vedoucímu mé diplomové práce, za ochotu, rady, věcné připomínky a profesionální vedení.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

JUCHELKA, D. *Zařízení pro paktování kovového odpadu: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní. Katedra výrobních strojů a konstruování, 2016, 72 s. Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem dvoustupňového pakovacího lisu pro zpracování lehkého kovového odpadu. První lisovací stupeň zabezpečuje lisovní víko, druhý tlačka dolisu. Práce je rozdělena na dvě základní části, kde teoretická část tvoří pakovací lisy dostupné na trhu. Lisy jsou doprovázené technickými údaji a obrázky. Dále praktická část je zaměřená na samotný konstrukční návrh, popis konstrukčních uzlu a kontrolní výpočty. Tyto části jsou doplněné schémata a obrázky. Pevnostní kontroly vybraných částí jsou provedeny metodou konečných prvků. Součástí práce také tvoří výkresová dokumentace.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

JUCHELKA, D. *Equipment for metal waste bailing: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering. Department of Production Machines and Design, 2016, 72 p. Thesis head: doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář.

This thesis deals with the design of the two-stage baling press machine for a processing lightweight metal waste. The pressing lid ensures the first pressing stage, the pusher to press ensures the second stage. The thesis is divided into two basic parts. The theoretical part deals with baling press machines available on the market. The presses are accompanied with technical specifications and pictures. The practical part is focused on the particular design, a description of design nodes and check calculations. These parts are supplemented with schemes and pictures. The strength checking of chosen parts is accomplished using finite elements method. The drawing documentation is a part of the thesis.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	11
1 Úvod.....	16
2 Paketování.....	17
2.1 Vhodný kovový materiál pro paketování	17
2.2 Nevhodný materiál pro paketování	18
2.3 Paketovací lisy	18
3 Přehled paketovacích lisů	20
3.1 Paketovací lis řady YD.....	20
3.2 Dvojčinný paketovací lis.....	21
3.3 Paketovací lis JPY81-135A	22
3.4 Paketovací lis Y81q-160	22
3.5 Paketovací lis s manuálním hradítkem.....	23
3.6 Paketovací lis EE135S	24
4 Návrh variant řešení.....	25
4.1 Požadavkový list	25
4.2 Morfologická matice	27
4.3 Hrubá stavební struktura	27
4.3.1 Vyhodnocení variant	28
4.4 Vybrané varianty řešení	28
4.4.1 Hradítko	28
4.4.2 Zámek lisovního víka	30
4.4.3 Uložení hydraulického válce dolisu	31
4.4.4 Vyložení lisovní komory	32
5 Základní rozměry komory a paketu	33
5.1 Objem komory	33
5.2 Určení jednotlivých stran	34
5.3 Hutnost paketu	34

6 Sílové parametry	35
6.1 Stanovení velikosti síly dolisu	35
6.1.1 Volba hydraulického válce dolisu	36
6.2 Stanovení velikosti síly lisovního víka	36
6.2.1 Volba hydraulického válce lisovního víka	37
6.3 Stanovení síly hradítka	37
6.3.1 Volba hydraulického válce hradítka	37
6.4 Určení bočních sil na stěnu paketu při dolisu	38
6.5 Určení síly na hradítko	39
7 Vlastní návrh paketovacího lisu	41
7.1 Lisovní Komora	41
7.1.1 Pevnostní kontrola komory	42
7.2 Lisovní víko	43
7.2.1 Pevnostní kontrola víka	43
7.3 Zámek lisovního víka	44
7.3.1 Princip zámku	45
7.3.2 Návrh pojišťovacích čepů zámku	45
7.3.3 Kontrola čepů zámku	47
7.3.4 Tlačná pružina	49
7.3.5 Lineární vedení	50
7.3.6 Pevnostní kontrola zámku	52
7.4 Hradítko	53
7.4.1 Návrh čepu hradítka	53
7.4.2 Kontrola svarového spoje	56
7.4.3 Pevnostní kontrola hradítka	57
7.5 Tlačka	58
7.5.1 Pevnostní kontrola tlačky	58
8 Uložení hydraulických válců	60

8.1 Uložení válce lisovního víka	60
8.1.1 Návrh čepu	60
8.1.2 Návrh kluzných ložisek	62
8.1.3 Kontrola svarových spojů	63
8.2 Uložení válce dolisu	64
8.2.1 Kontrola svarového spoje	65
8.3 Uložení hydraulických válců hradítka	67
9 Konstrukčně projekční návrh	68
10 Závěr	69
Seznam použité literatury	70
Seznam příloh	72

Seznam použitých značek a symbolů

A	Šířka lisovní komory	[m]
a	Šířka paketu	[m]
a_{SV1}	Velikost svaru	[mm]
a_{SV2}	Velikost svaru	[mm]
a_{SV3}	Velikost svaru	[mm]
a_h	Rozměr oka hradítka	[mm]
a_1	Rozměr působení síly v nosníku	[mm]
B	Výška lisovní komory	[m]
b	Výška paketu	[m]
b_h	Rozměr vidlice	[mm]
b_1	Rozměr působení síly v nosníku	[mm]
C	Délka lisovní komory	[m]
C_d	Dynamická únosnost	[N]
C_o	Statická únosnost	[N]
c	Délka paketu	[m]
c_1	Rozměr působení síly v nosníku	[mm]
D_p	Vnější průměr pružiny	[mm]
D_v	Průměr pístu	[mm]
$d_{\check{c}v}$	Průměr čepu uchycení hyd. válce	[mm]
d_h	Průměr čepu hradítka	[mm]
d_p	průměr drátu pružiny	[mm]
$d_{p\check{c}}$	Průměr pojistného čepu	[mm]
d_v	Průměr pístní tyče	[mm]
d_1	Rozměr působení síly v nosníku	[mm]
e	Eulerovo číslo	[1]
e_1	Rozměr otláčované části v rámu	[mm]
F	Obecně zatěžující síla	[N]
F_b	Síla působící na stěny komory	[N]
F_c	Síla působící na dno komory	[N]

F_d	Síla dolisu	[N]
$F_{d \max}$	Max. síla hydraulického válce dolisu	[N]
F_{dt}	Max. síla hyd. válce v tahu dolisu	[N]
F_H	Síla hradítka	[N]
F_h	Síla působící na hradítko	[N]
$F_{h \max}$	Max. síla hyd. válce hradítka	[N]
F_{ht}	Max. síla hyd. válce v tahu hradítka	[N]
F_{ch}	Celková zatěžující síla čepy hradítka	[N]
F_{ch1}	Zatěžující síla na jeden čep hradítka	[N]
F_{lv}	Síla působící na lineární vedení	[N]
F_N	Síla lisovního víka	[N]
$F_{pč}$	Síla působící na pojistný čep	[N]
$F_{vč}$	Síla působící na jeden čep v uložení válce víka	[N]
$F_{v \max}$	Max. síla hyd. válce víka	[N]
F_{vt}	Max. síla hyd. válce v tahu	[N]
F_{vx}	Složka síly v ose x	[N]
F_{vy}	Složka síly v ose y	[N]
F_8	Max. síla pružiny	[N]
f	Součinitel smykového tření	[1]
f_{SL}	koefficient bezpečnosti lineárního vedení	[1]
f_1	Rozměr otláčené části ve víku	[mm]
G_h	Tíha hradítka	[N]
$G_{pč}$	Tíha pojistného čepu	[N]
G_v	Tíha víka	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m·s ⁻²]
J_y	Kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
J_{SVx}	Kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
k	Součinitel úměrnosti	[1]
k_S	Součinitel statické bezpečnosti	[1]

k_1	Tuhost pružiny	[N/mm]
k_3	Převodní součinitel koutového svaru	[1]
k_4	Převodní součinitel koutového svaru	[1]
L	Rameno působení síly	[mm]
L_h	Jmenovitá životnost	[m]
L_m	Jmenovitá životnost	[hod]
L_1	Délka drátu pružiny	[mm]
l	Rozměr očka	[mm]
l_{B1}	Otlačovaná délka ložiska	[mm]
l_{B2}	Otlačovaná délka ložiska	[mm]
l_{SV2}	Výpočtová délka svaru	[mm]
l'_{SV2}	Skutečná délka svaru	[mm]
l_{SV3}	Výpočtová délka svaru	[mm]
l'_{SV3}	Skutečná délka svaru	[mm]
l_v	Zdvih válce	[mm]
l_0	Volná délka pružiny	[mm]
l_8	Max. stlačení pružiny	[mm]
M_o	Ohybový moment	[N·mm]
m	Hmotnost paketu	[kg]
m_h	Hmotnost hradítka	[kg]
$m_{pč}$	Hmotnost pojistného čepu	[kg]
m_v	Hmotnost víka	[kg]
N	Normálová síla	[N]
n	Počet činných závitů pružiny	[1]
O	Obvod tláčky	[m]
P	Statická ekvivalentní únosnost	[N]
p	Napětí v tlaku	[MPa]
p_{DOV}	Dovolené napětí v tlaku	[MPa]
p_h	Tlak na hradítko	[Pa]
p_p	Pracovní tlak válce	[MPa]

p_{sm}	Měrný tlak zvolený ze smluvní křivky	[MPa]
p_t	Tlak na tlačce	[Pa]
p_x	Tlak působící v ose x	[Pa]
p_y	Tlak působící v ose y	[Pa]
R_{ay}	Reakce v bodě A	[N]
R_{bx}	Reakce v bodě B	[N]
R_{by}	Reakce v bodě B	[N]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
r_d	Rameno působení síly	[mm]
S	Obecný průřez (plocha)	[m ²]
S_b	Boční plocha paketu	[m ²]
S_c	Plocha dna paketu	[m ²]
S_h	Plocha hradítka v místě styku s paketem	[m ²]
S_p	Průřez paketu	[m ²]
S_{SV}	Plocha svaru	[mm ²]
S_t	Plocha tlačky	[m ²]
s	Rozměr očka	[mm]
T	Třecí síla	[N]
V	Objem komory	[m]
v	Pojezdová rychlost	[m/min]
W_o	Průřezový modul v ohybu	[mm ³]
W_{oxSV}	Průřezový modul svaru v ohybu k ose x	[mm ³]
W_{oySV}	Průřezový modul svaru v ohybu k ose y	[mm ³]
α	Úhel válce víka při zavřeném stavu	[°]
β	Součinitel koutového svaru	[1]
π	Ludolfovo číslo	[1]
ρ	Hutnost paketu	[kg·m ³]
ρ_s	Sypná hmotnost kovového odpadu	[kg·m ³]
σ_o	Napětí v ohybu	[MPa]
σ_{oDOV}	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]

σ_{red}	Redukované napětí	[MPa]
τ_s	Napětí ve smyku	[MPa]
τ_{sDOV}	Dovolené napětí ve smyku	[MPa]
$\tau_{//}^F$	Napětí od posouvající síly	[MPa]
$\tau_{//}^{Fvx}$	Napětí ve svaru	[MPa]
$\tau_{\perp}^{F_{dmax}}$	Napětí ve svaru	[MPa]
$\tau_{\perp}^{F_{vy}}$	Napětí ve svaru	[MPa]
$\tau_{\perp}^{M_o}$	Napětí od ohybového momentu ve svaru	[MPa]

1 Úvod

Konstrukce, jedno z nejdůležitějších oborů fungujícího průmyslu, hraje velkou roli v tomto strojírenském odvětví. S neustálou inovací a modernizací výrobních technologií dochází v dnešní době k vyšší poptávce po strojích, strojních zařízeních či jiných součástech pro průmyslové nebo domácí využití.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem paketovacího lisu pro lehký kovový odpad menších tloušťek, který lisuje ve dvou stupních. První stupeň zastává lisovní víko, druhý stupeň tlačka dolisu. Hlavní činnosti lisu je zvětšení měrné hmotnosti (hutnosti) odpadu do podoby konečných paketů, které jsou následně vsázené do kyslíkových konvertorů nebo elektrických pecí.

Úvodní část práce je zaměřena na stručný popis technologie paktování a dvoustupňové paketovací lisy, vyskytující se na trhu.

Hlavní část se však zabývá projekčně konstrukčním návrhem lisu. Z navrhnutých řešení a vybraných variant zpracují výslednou podobu lisu. V práci jsou podrobně zpracované veškeré konstrukční uzly, jde o lisovní komoru, lisovní víko, hradítko, tlačku dolisu a uložení hydraulických válců. Jednotlivé uzly jsou zkontrolovány výpočty, nebo pevnostní analýzou provedenou v Autodesk Inventor 2015.

2 Paketování

Paketování je velmi rozšířenou technologií pro zpracování (úpravu) kovového odpadu, především se jedná o lisování lehkého šrotu železných, či neželezných kovů. Tato technologie se provádí na strojích, zvaných paketovací lisy. Vstupní surovinou lisu je volně sypaný kovový odpad a výstupním produktem tzv. paket.[1]

V porovnání s rozdílnými technologiemi, jako jsou briketování, stříhání, nebo drcení jsou velkou výhodou nízké výrobní náklady. Naopak nevýhodou paketování je obtížná kontrola znečištění paketů. Aby byla vizuální kontrola paketu účinnější, dává se přednost paketům s malými rozměry. Pakety z ocelového odpadu se používají v tavících pecích, kde se odpad přetavuje – recykluje a produkuje se kov pro výrobu nových výrobků. Dále jsou určeny pro kyslíkové konvertory, elektrické pece a tandemové pece.[1]

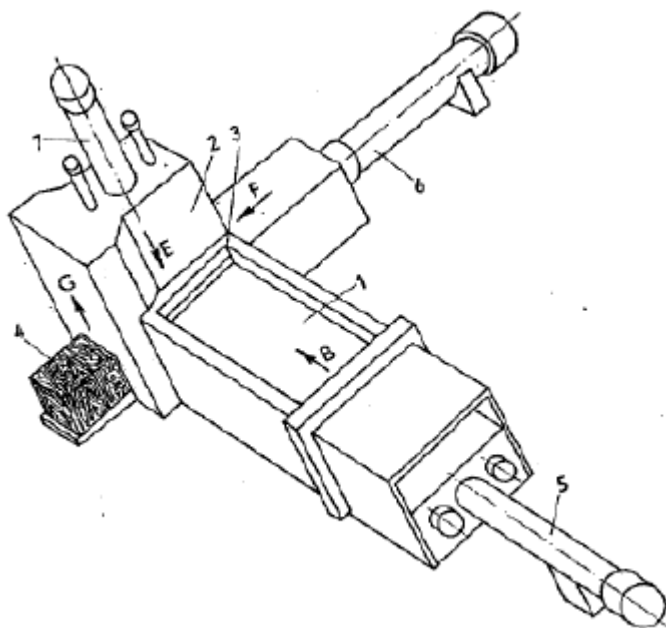
2.1 Vhodný kovový materiál pro paketování

Vhodný paketovatelný kovový odpad tvoří zejména odstřížky z plechu, vyřazené výrobky z plechu, nebo vyřazené konstrukce ze slabších profilů do pevnosti 450 MPa. Výhodně lze tvářet plechy třídy 11, tenkostěnné ocelové konstrukce nebo plechový odpad s 15 až 30 % hmotnostním podílem dlouhých ocelových třísek. Pro tyto materiály se používají paketovací lisy do měrného tlaku 10 až 30 MPa na tlačítku poslední lisovní operace.[1]



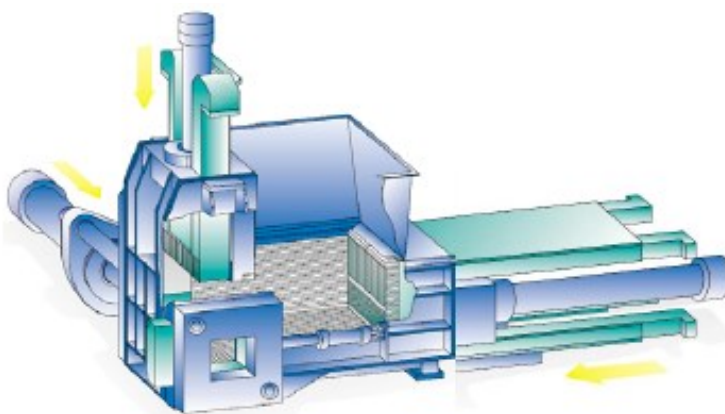
Obr. 1 Vhodný materiál pro paketování [8]

Těsně před druhou světovou válkou se začaly vyrábět paketovací lisy, které stlačují kovový odpad ve třech směrech. Lisovací víko bylo nahrazeno vertikálním předlisem.[2]



Obr. 4 Schéma třístupňového paketovacího lisu s vertikálním předlisem[2]

1 - lisovací deska (shrnovací násypka), 2 – lisovní skříň, 3 – zastříhovací nože, 4 – hotový paket, 5 – válec prvního stupně lisování, 6 – válec třetího stupně lisování (dolis), 7 – válec druhého stupně lisování, G - hradítko[2]



Obr. 5 Paketovací lis s vertikálním předlisem[přednášky]

3 Přehled paketovacích lisů

Tato kapitola se zabývá přehledem paketovacích lisů, které jsou běžně k dostání na trhu. Součástí tohoto přehledu je stručný popis lisů s technickými údaji. Pro lepší přehled jsou zde vloženy obrázky jednotlivých zařízení.

3.1 Paketovací lis řady YD

Tento typ hydraulického paketovacího lisu se používá v ocelárnách, recyklačních průmyslech, železných a neželezných tavicích průmyslech, který slouží k lisování kovového šrotu (ocelového šrotu, šrotu mědi, šrotu hliníku, nerezů, k demontáži vozidel a nádrží odpadních olejů atd.) do tvaru hranolu způsobem k vkládání do pece. Lis je vybavený vznětovým motorem pro případ výpadku elektrické energie. Maximální tloušťka lisovaného odpadu je 3 mm.[9]

Technické parametry

- Velikost plnicího prostoru: 1000 x 600 x 500 mm
- Rozměry paketu: 200 x 200 mm, 220 x 220 mm, 250 x 250 mm
- Hustota paketu: $>1800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Doba cyklu: $> 100 \text{ s}$
- Výkon: 11 kW
- Hmotnost: 5000 kg [9]



Obr. 6 Paketovací lis řady YD[9]

3.2 Dvojčinný paketovací lis

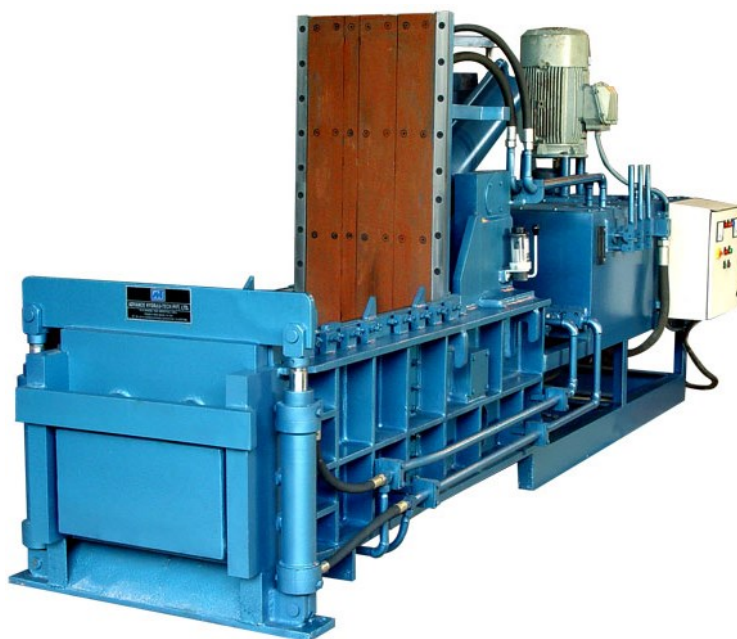
Jak již název napovídá, lis lisuje šrot ve dvou směrech. Ve směru podélném a shora. Tyto dvojčinné paketovací lisy jsou vhodné pro paktování lehkého kovového odpadu. Jedná se o kompaktní stroj s malými rozměry, který dokonale vyhovuje pro malé obchodníky, kteří požadují zpracování 5 tun během jedné směny.[10]

Znaky

- Snadné použití
- Výměnné desky odolné proti opotřebení
- Vysoká životnost lisovací komory
- Vybavené střížnými noži na okraji víka a komory
- Dostupnost lisu v plně automatickém režimu
- Přizpůsobení lisu podle vlastních požadavků [10]

Technické parametry

- Síla hlavního válce: 0,93 MN
- Hmotnost paketu: 40 – 60 kg
- Rozměry komory: 1200 x 600 x 600 mm[10]



Obr. 7 Dvojčinný paketovací lis[10]

3.3 Paketovací lis JPY81-135A

Série JPY81 hydraulických paketovacích lisů je schopná vytlačovat různé kovové pozůstatky, ocelové okrajování, hliník, měď, nerezovou ocel a automobilové materiály. Takové lisy se používají především v ocelárnách. Velikost stlačovací komory a tvar a velikost paketu může být navržen a upraven podle požadavků zákazníku. Součástí lisovní komory jsou řezné lišty.[11]

Technické parametry:

- Rozměry komory: 1400 x 600 x 600 mm
- Průřez paketu: 600 x 240 mm
- Síla hlavního válce: 1,35 MN[11]



Obr. 8 Paketovací lis JPY81-135A[11]

3.4 Paketovací lis Y81q-160

Lis je vhodný zejména pro zpracování ocelového šrotu a barevných kovů. Obsahuje 4 hydraulické válce, dieselový motor pro případ výpadku elektrické energie. Vyznačuje se dlouhou životností motoru a čerpadla.[12]

Technické parametry:

- Velikost komory: 1600 x 800 x 600 mm
- Průřez paketu: 800 x 280 mm
- Hmotnost paketu: 60 až 90 kg
- Produkce: 2 až 3 t/h[12]



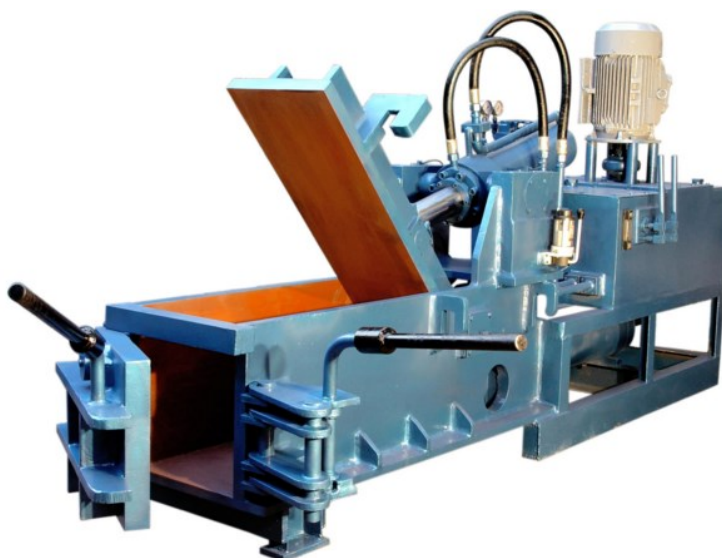
Obr. 9 Paketovací lis Y81q-160[12]

3.5 Paketovací lis s manuálním hradítkem

Tento typ s manuálním hradítkem je široce požadován na trhu pro jeho vysoký výkon a nízké nároky na údržbu.[13]

Technické parametry:

- Velikost komory: 1140 x 500 x 400 mm
- Průřez paketu: 400 x 300 mm
- Hmotnost paketu: 30 až 50 kg
- Čas cyklu: 75 až 85 s[13]



Obr. 10 Paketovací lis s manuálním hradítkem[13]

3.6 Paketovací lis EE135S

Dvě lisovnní operace tohoto lisu jsou pohaněné motorem 18,5 kW. Lis se perfektně hodí pro lisování plechovek, hliníkových plechu, hliníkových a mēdēných drátů, ocelových třísek a nezelezných kovů. Komora je vyplněna otěruvzdorným materiálem. Zákazník si může přiojednat volitelné zařízení, např. dopravník, dieselový motor.[14]

Technické parametry:

- Velikost komory: 1300 x 600 x 600
- Průřez paketu: 600 x 240 mm
- Hmotnost paketu: 50 až 75 kg
- Produkce: 2,8 t/h[14]



Obr. 11 Paketovací lis EE135S[14]

4 Návrh variant řešení

Paketovací lisy se vyskytují v různých provedeních. Nejčastěji se používají lisy většího charakteru, které mají tři stupně lisování a to lisovní víko, předlis a dolis. Některé mohou být opatřené také sklopnou násypkou, sloužící k přípravě zavážecí dávky během lisování.

Cílem této diplomové práce je ale navrhnout paketovací lis, který se skládá ze dvou lisovních stupňů. Tento typ lisu bude tvořen lisovním víkem, které bude opatřeno zámkem, aby nedošlo k otevření při lisování. Lisovní komorou, kde kovový odpad je tvářen do finální podoby paketu. Dolisem sloužící k lisování paketu na konečnou délku, který obsahuje tlačku pohaněnou hydraulickým válcem a hradítkem, uzavírající lisovní komoru, umístěným na straně proti dolisu. Otevřením hradítka dochází k vytlačení konečného paketu z lisu. Tyto jednotlivé konstrukční uzly následně navrhnu a popíšu dále v textu.

Pracovní cyklus paketovacího lisu

Předpokládáme, že lisovní víko je otevřené (svislá poloha) a lisovací komora zavezena šrotem.

1. Víko (první lisovní operace) uzavře šrot na výšku paketu. Dochází k prvnímu stlačení šrotu a uzamčení víka.
2. Dolis stlačí šrot na výslednou délku paketu.
3. Odtlakování. Natlakované válce znesnadňují otevření hradítka. Někdy je nutné dolisem odjet o několik centimetrů zpět.
4. Otvírání hradítka.
5. Vytlačení hotového paketu dolisem.
6. Vracení dolisu do výchozí polohy
7. Uzavření hradítka
8. Otevření víka (do svislé polohy)

4.1 Požadavkový list

Před samotnou realizaci návrhu si určím požadavky a přání, které znázorním do požadavkového listu.

Tabulka 1 Požadavkový list

Specifikace požadavku	podmínka	přání
Funkce, účinky a funkční parametry		
Proces paketovacího lisu -Typ lisu: 2 stupně lisování (lisovní víko, dolis) -Přístupnost: dobrá přístupnost k lisovní komoře (zavážení šrotu) -Vstupní materiál: šrot malých tlouštěk -Výstupní materiál: paket o rozměrech 240 x 550 x 270 mm	x x x	
Materiál lisu: -Materiál: ocel, ořezavzdorná ocel (hardox)	x	
Paketovací lis: -Objem násypky: minimálně 0,25 m ³ -Pohon: hydraulické válce, čerpadlo, elektromotor -Hmotnost paketu: cca 50 kg	x x x	
Provoz: -Prostředí: nečisté -Četnost použití: vysoká -Požadovaná životnost: minimálně 5 let -Údržba: co nejmenší -Vyměnitelnost opotřebovaných částí komory (hardox)	x x	x
Ergonomie: -Stabilita: (bezpečnost proti převržení) -Bezpečnost proti poranění	x x	
Vzhled: -Uspokojivý tvar -Povrch: necitlivý k poškození		x
Předpisy a normy: -Bez porušení patentových práv -Nejsou zvláštní předpisy	x	
Výroba: -Malosériová výroba		
Ekonomie: -Minimální náklady na provoz	x	

4.2 Morfologická matice

V morfologické tabulce jsem uvedl jednotlivé konstrukční uzly a jejich možné provedení. Následně jsem vybral dvě potencionální řešení, které v tabulce 2 znázorním spojením čar. Tyto dvě řešení ohodnotím v tabulce č. 4.

Tabulka 2 Morfologická matice

Dílčí funkce		Orgány nositelé funkcí		
		1	2	3
1.	Hradítko (otevírání)	S jedním hydraulickým válcem	S dvěma hydraulickými válci	Ruční otevírání
2.	Zámek lisovního víka	Pojistné čepy	Hydraulický válec	Hydraulický válec vně komory
3.	Vyložení komory	Hladké	S drážkováním	bez vyložení
4.	Příčník	Svařovaný	Šroubovaný	
5.	Uložení hydraulického válce dolisu	přírubový válec	válec s objímkou	
6.	Tlačka	Svařovaná	Šroubovaná	
7.	Komora	Svařovaná		
8.	Víko	Svařované		

4.3 Hrubá stavební struktura

Vybrané řešení z morfologické tabulky jsem pro přehlednost seřadil v tabulce č. 3.

Tabulka 3 vybraná řešení

-		Řešení A	Řešení B
1	Hradítko (otevírání)	S dvěma hyd. válci	S jedním hyd. válcem
2	Zámek lisovního víka	Pojistné čepy	Hydraulický válec
3	Vyložení komory	Hladké	S drážkováním
4	Příčník	Svařovaný	Šroubovaný
5	Uložení hyd. válce dolisu	Válec s objímkou	Přírubový válec
6	Tlačka	Svařovaná	Svařovaná
7	Komora	Svařovaná	Svařovaná
8	Víko	Svařované	Svařované

4.3.1 Vyhodnocení variant

Jednotlivá řešení jsem ohodnotil stupnicí 1 – 3, přičemž 1 je nejlepší hodnocení. Výsledná varianta s menším součtem je vhodnější a tou se budu zabývat v detailním zpracování. Do hodnocení zahrnuji praktičnost, zástavbový prostor, funkčnost a estetickou stránku.

Tabulka 4 Vyhodnocení variant

x	Funkce	Řešení A	Řešení B
Kombinace orgánů - nositelů funkcí	Hradítko (otevírání)	1	2
	Zámek lisovního víka	1	3
	Vyložení komory	2	2
	Příčník	1	2
	Uložení hyd. válce dolisu	2	3
	Tlačka	1	1
	Komora	1	1
	Víko	1	1
Sumace hodnocení		10	15
Celkové pořadí		<u>1.</u>	<u>2.</u>

4.4 Vybrané varianty řešení

Před realizací projekčně konstrukčního návrhu jsem si stanovil ze dvou možných řešení vhodnou variantu, pomocí morfologické matice. Ve variantách zpracuju hradítko, zámek lisovního víka, uložení hydraulického válce dolisu a vyložení lisovní komory otěruvzdorným materiálem. Vybranou variantu podrobně zpracuju v následujících kapitolách, přičemž podrobný popis se bude nacházet v kapitole 7.

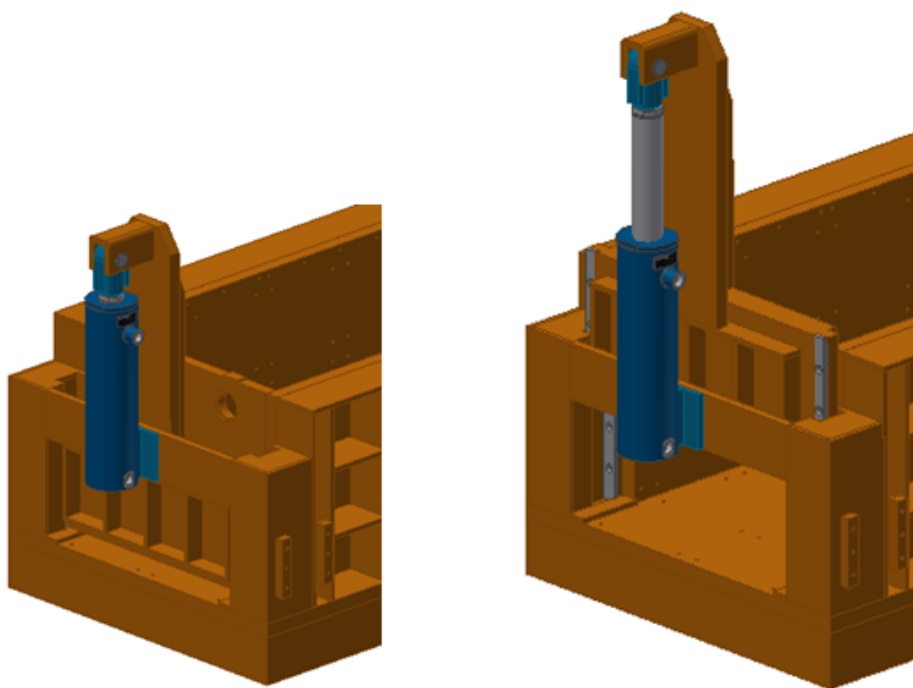
4.4.1 Hradítko

Hradítko slouží k uzavření komory a následnému otevření, aby dolis mohl vytlačit konečný paket ven z lisovní komory.

a) varianta s jedním hydraulickým válcem

Otevírání a zavírání hradítka umožňuje jeden hydraulický válec, který je umístěn v prostřední části na plechu. Samotné hradítko, v místě styku s paketem, je tvořeno silným

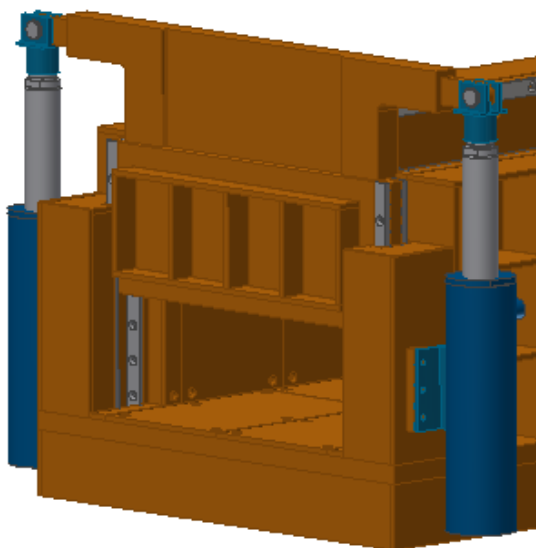
plechem a vyztužením společně s konzolí pro spojení s válcem. Hradítko je vedeno ve vedení z otěruvzdorných lišt.



Obr. 12 Hradítko s jedním hydraulickým válcem

b) varianta s dvěma hydraulickými válci

Pohyb hradítka umožňují dva hydraulické válce umístěné na bocích komory. Hradítko je vedeno ve vedení z otěruvzdorných lišt.



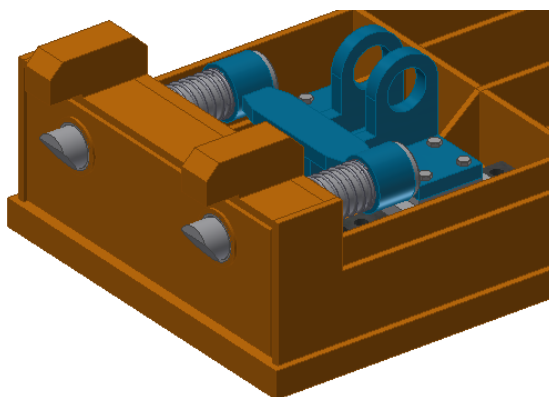
Obr. 13 Hradítko s dvěma válci

4.4.2 Zámek lisovního víka

Zámek zabraňuje otevření víka při působení hydraulického válce dolisu. Musí umožnit „uzamčení“ lisovaného materiálu v komoře.

a) varianta s pojistnými čepi

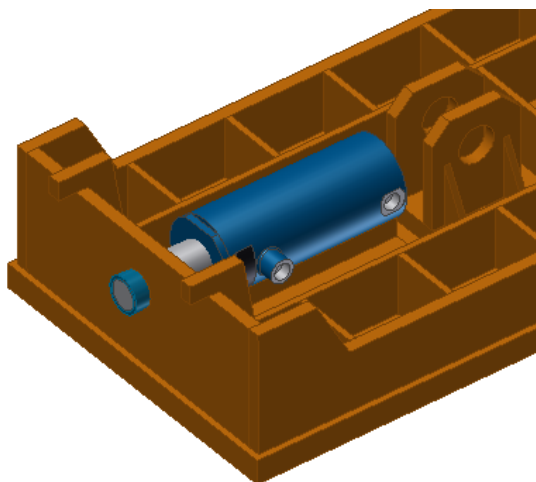
Principem je vysunutí pojistných čepů do lisovní komory, tím dojde k zajištění víka. Největší výhodou této varianty je použití jednoho hydraulického válce, který pohybuje víkem a zároveň umožní pojištění čepů a následné jejich odjištění.



Obr. 14 Zámek s pojišťovacími čepi

b) varianta s hydraulickým válcem

K pojištění víka slouží samotný hydraulický válec, z toho plyne použití dvou válců. Jeden na otevírání víka a druhý na zámek. Princip je následující: válec lisovního víka dojde na konečnou polohu a stlačí šrot na výšku paketu, po té začne působit válec zámku a víko zajistí.

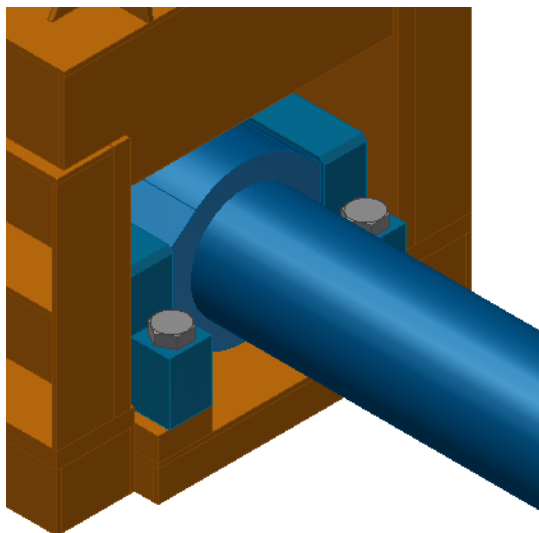


Obr. 15 Zámek, hydraulický válec

4.4.3 Uložení hydraulického válce dolisu

a) varianta válce s objímkou

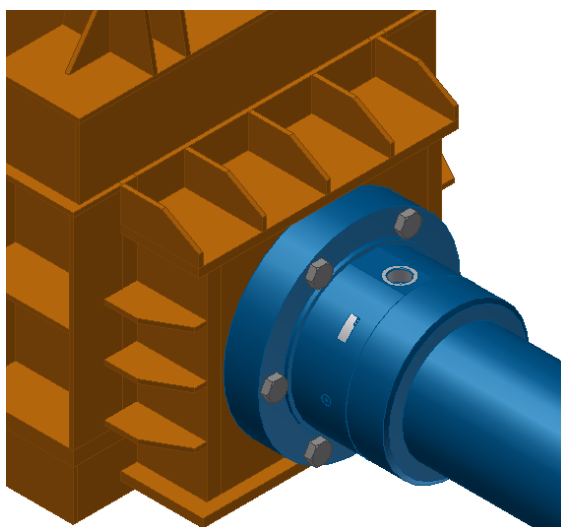
V této variantě je hydraulický válec uložen v radiálních držácích, které obsahují kluzné pouzdra. Toto provedení je vybráno z katalogu firmy Bosch Rexroth [15]. Výhodou je, že můžeme válec vkládat do komory společně s tlačkou.



Obr. 16 Uložení válce s objímkou

b) varianta s přírubovým válcem

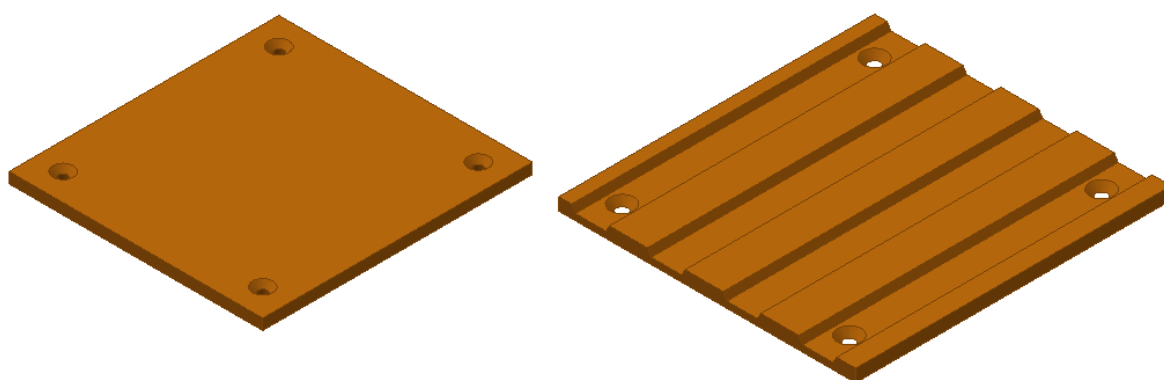
Variantu s přírubovým válcem považuju za méně vhodnou oproti uložení válce s objímkou. Hlavním důvodem je montáž tlačky uvnitř lisovní komory a větší zástavbový prostor.



Obr. 17 Uložení válce pomocí příruby

4.4.4 Vyložení lisovny komory

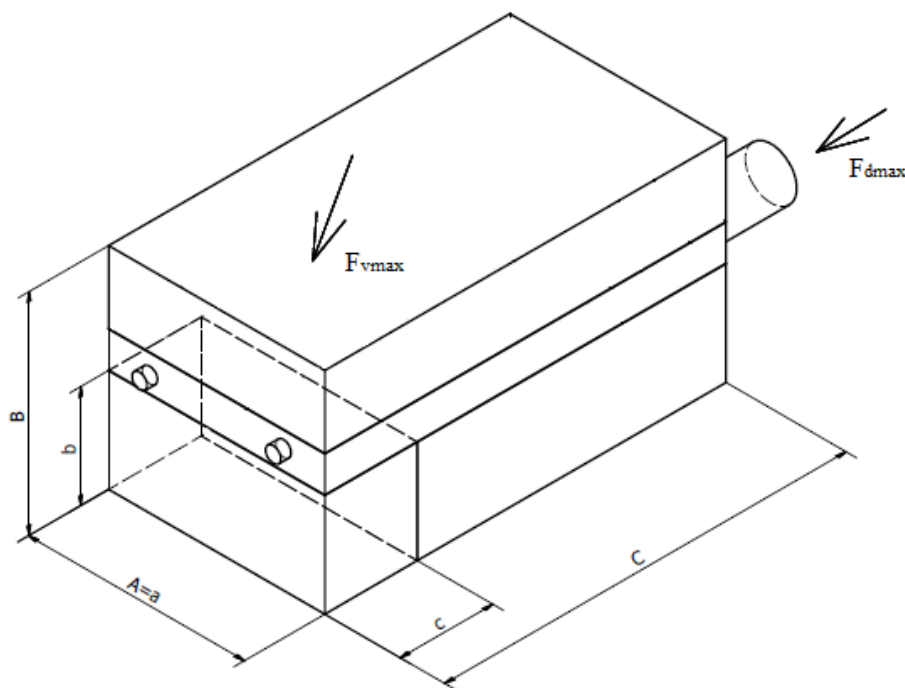
Lisovny komory se vykládají otěruvzdorným materiálem (hardoxem). U menších lisů, zejména dvoustupňových, se používá vyložení bez drážkování. Třístupňové lisy jsou také vybavené hladkým vyložení, výjimečně s drážkováním. Drážkování a to lichoběžníkové nebo obloukové se spíše používá u lisu velkých rozměrů a sil. Když použijeme vyložení komory s drážkováním, musíme tomu také přizpůsobit tlačku.



Obr. 18 Vyložení lisovny komory s drážkováním a bez drážkování

5 Základní rozměry komory a paketu

Nejdříve určím rozměry komory a základní sílové parametry. Při návrhu lisovní komory vycházím ze sypné hmotnosti kovového odpadu, kterou uvažuji $80 - 280 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Do výpočtu použiju průměrnou hodnotu, která je $180 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.



Obr. 19 Schéma lisovní komory

Dle schématu vidíme, že lisovací komora je dána rozměry A, B, C. Při působení první lisovací operace F_{vmax} (lisovní víko) dochází k zmenšení rozměru B na b, vzniká výška paketu. Působením druhé lisovní operace (dolisu) se zmenšuje odpad z rozměru C na c, vzniká délka paketu. Šířka paketu je daná šířkou komory.

5.1 Objem komory

$$\rho_s = \frac{m}{V} \quad (1)$$

$$V = \frac{m}{\rho_s} = \frac{50}{180} = 0,278 \text{ m}^3 \quad (2)$$

kde:

- | | |
|----------|--|
| m | zadaná hmotnost paketu, (hmotnost zavážky) |
| ρ_s | sypná hmotnost kovového odpadu |

5.2 Určení jednotlivých stran

$$V = A \cdot B \cdot C \quad (3)$$

$$C = \frac{V}{A \cdot B} = \frac{0,278}{0,55 \cdot 0,5} = 1 \text{ m} \quad (4)$$

kde:

- A šířka komory, která je dána hodnotou paketu 550 mm
- B výška komory, volím 500 mm
- C délka komory, dopočítaná z objemu

5.3 Hutnost paketu

Z měrné hmotnosti paketu tzv. hutnosti si dopočtu poslední rozměr balíku. Tento rozměr nebude vždy stejný z důvodu různorodosti šrotu, ale bude se kolem této hodnoty pohybovat.

$$\rho = \frac{m}{a \cdot b \cdot c} \quad (5)$$

$$c = \frac{m}{a \cdot b \cdot \rho} = \frac{50}{0,55 \cdot 0,24 \cdot 1400} = 0,27 \text{ m} \quad (6)$$

kde:

- a, b průřez paketu dle zadání
- ρ měrná hmotnost paketu dle zadání
- c dopočítaná velikost strany od dolisu

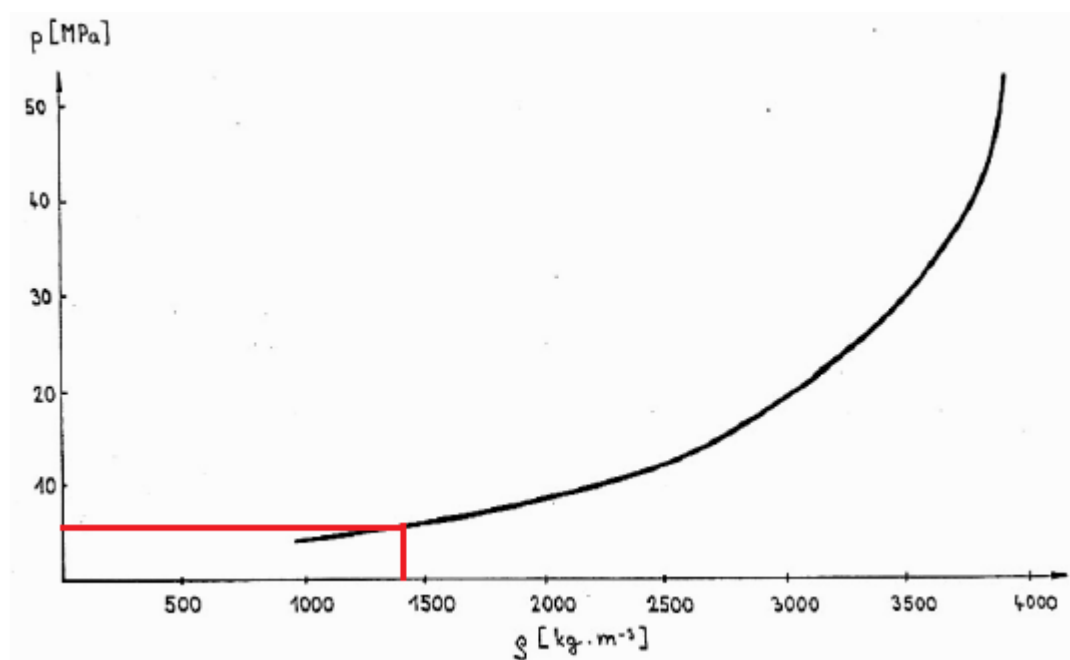
6 Sílové parametry

Dvoustupňový paketovací lis obsahuje tři základní sílové parametry, sílu lisovního víka, sílu dolisu a sílu hradítka. Podle těchto sil následně zvolím vhodné hydraulické válce. Při výpočtu postupuju dle [1] a přednášek pana doc. Dr. Ing. Kováře.

6.1 Stanovení velikosti síly dolisu

Zde můžeme vyjít ze zvyklostí a použít z řady lisovních sil např. tyto síly: 1,6; 3,15; 4; 6,3; 10; 12,5 [MN] nebo si zvolíme tlak ze smluvní křivky a sílu dopočítáme. Tato křivka, která udává závislost hutnosti na měrném tlaku na čele tlačky dolisu, byla stanovena dohodou.

Velikost síly dolisu určím ze smluvní křivky tak, že nanesu hodnotu střední měrné hmotnosti paketu (hutnosti). V mém případě se jedná o číslo $\rho = 1400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, které bylo zadáno a hodnotu z grafu odečtu.



Obr. 20 Smluvní křivka[1]

Výpočet síly dolisu

$$F_d = S_p \cdot p_{sm} \quad (7)$$

$$F_d = a \cdot b \cdot p_{sm} = 0,55 \cdot 0,24 \cdot 5,5 \cdot 10^6 = 726000 \text{ N} \quad (8)$$

kde:


p_{sm} měrný tlak zvolený ze smluvní křivky, volím $p = 5,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

6.1.1 Volba hydraulického válce dolisu

Na základě vypočtené síly zvolím hydraulický válec dolisu. Válec volím od klasické firmy Bosch – Rexroth, která se zabývá tekutinovými mechanismy. Z katalogu jsem si vybral provedení válce s objímkou a čepy, které uchytну v radiálních držácích. Jako druhou variantu lze použít válec s přírubou nebo s upevňovací patkou. Zakončení pístní tyče bude se závitem, kde si následnou přírubu na uchycení tlačky sám navrhnu.

Parametry hydraulického válce dolisu

Tabulka 5 Parametry válce dolisu

Popis	Značka	Hodnota
Označení	-	CDH1-MT4/200/125-1270
Průměr pístu	D_v	200 mm
Průměr pístní tyče	d_v	125 mm
Síla v tlaku	$F_{d\max}$	785 250 N
Síla v tahu	F_{dt}	478 450 N
Pracovní tlak	p_p	25 MPa
Zdvih válce	l_v	1 270 mm
		

6.2 Stanovení velikosti síly lisovního víka

Jedná se o první lisovní operaci. Víko se pomalu zavírá a začíná lisovat kovový odpad. Po dojetí do vodorovné polohy se zastaví o doraz, který je součástí lisovní komory. Tato operace vytvoří výšku paketu. Jinými slovy, víko uzavře odpad na zadanou výšku paketu ($b = 0,24$ m).

Výpočet síly lisovního víka


$$F_N = (0,3 \div 0,45) \cdot F_d = 0,37 \cdot 726000 = 268620 \text{ N} \quad (9)$$

6.2.1 Volba hydraulického válce lisovního víka

Dle výpočtu zvolím hydraulický válec znovu od firmy Bosch – Rexroth, avšak tentokrát nezvolím model přímo z katalogu, ale nechám si variantu válce s objímkou a čepy poupravit. Místo objímky, použiju navařené tělesa s díry pro čepy. Pístní tyč bude obsahovat otočnou hlavu, kterou si nechám vyrobit.

Parametry hydraulického válce lisovního víka

Tabulka 6 Parametry válce víka

Popis	Značka	Hodnota
Označení	-	CDH1/125/70-880
Průměr pístu	D_v	125 mm
Průměr pístní tyče	d_v	70 mm
Síla v tlaku	$F_{v\max}$	306 750 N
Síla v tahu	F_{vt}	210 550 N
Pracovní tlak	p_p	25 MPa
Zdvih válce	l_v	870 mm
		

6.3 Stanovení síly hradítka

Hradítko musí odolávat tlakům od lisování, zabezpečit bezproblémovému uzavření během lisování a umožnit otevření po dolisování paketu, aby tlačka dolisu mohla paket vysunout z lisovací komory.

Výpočet síly hradítka

$$F_H = (0,2 \div 0,35) \cdot F_d = 0,27 \cdot 726000 = 196020 \text{ N} \quad (10)$$


6.3.1 Volba hydraulického válce hradítka

Opět zvolím válec dle výpočtu od firmy Bosch – Rexroth. Jedná se o typ CDL2, který si nechám upravit. Na místo objímky s čepy připevním desku s díry pro šrouby, které se následně přimontují ke komoře. Hradítko bude obsahovat dva hydraulické válce.

Parametry hydraulického válce hradítka

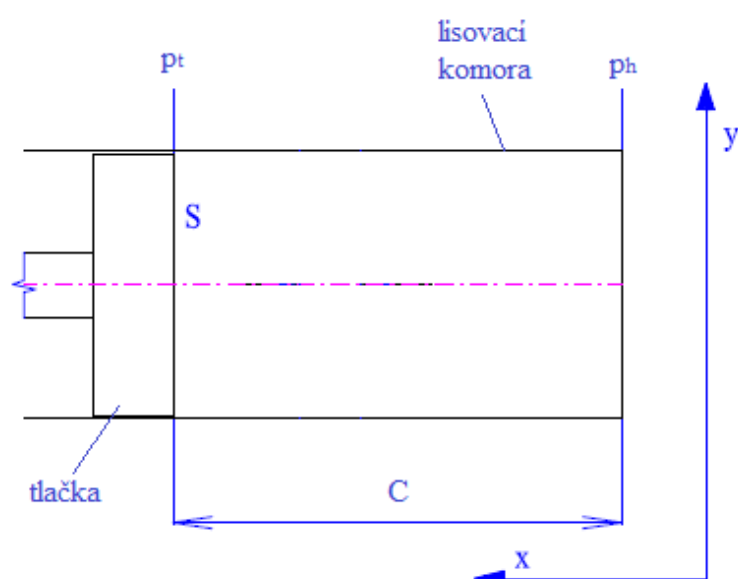
Tabulka 7 Parametry válce hradítka

Popis	Značka	Hodnota
Označení	-	CDL2/100/63-260
Průměr pístu	D_v	100 mm
Průměr pístní tyče	d_v	63 mm
Síla v tlaku	$F_{h\max}$	196 250 N
Síla v tahu	F_{ht}	118 360 N
Pracovní tlak	p_p	25 MPa
Zdvih válce	l_v	260 mm



6.4 Určení bočních sil na stěnu paketu při dolisu

Při dolisu se největší tlak shromažďuje v místě, kde se tvoří konečný paket. Při působení poslední operace na plochu a, b (čelo paketu) vznikají boční síly na paket, tj. síla F_b na plochu b, c (stěny komory) a F_c na plochu a, c (dno komory a lisovního víka).



Obr. 21 Výpočtové schéma

Pro výpočet bočních sil působící na paket vycházím z tlaku p_x , který působí v ose x. V mém případě se jedná o tlak tlačky p_t , čili tlak dolisu p_{sm} (zvolen ze smluvní křivky). Tento tlak přepočtu na tlak p_y , nacházející se v ose y, pomocí součinitele úměrnosti $k = 0,35$. Následný tlak p_y použiju pro výpočet sil na stěny komory, dno komory a dno lisovního víka. Pouze pro zjištění síly na hradítko použiju tlak p_x .

Vztah mezi p_x a p_y

$$p_y = k \cdot p_x = 0,35 \cdot 5,5 \cdot 10^6 = 1925000 \text{ Pa} \quad (11)$$

Určení boční síly na plochu b, c (boční stěny komory)

$$F_b = p_y \cdot S_b \quad (12)$$

$$F_b = p_y \cdot b \cdot c = 1925000 \cdot 0,24 \cdot 0,27 = 124740 \text{ N} \quad (13)$$

Určení boční síly na plochu a, c (dno)

$$F_c = p_y \cdot S_c \quad (14)$$

$$F_c = p_y \cdot a \cdot c = 1925000 \cdot 0,55 \cdot 0,27 = 285862,5 \text{ N} \quad (15)$$

kde:

S_b	boční průřez paketu dany rozměry b, c
S_c	boční průřez paketu dany rozměry a, c
p_x	tlak ve směru osy x
p_y	tlak ve směru osy y
k	součinitel úměrnosti mezi p_x a p_y ($k = 0,3$ až $0,4$)

6.5 Určení síly na hradítko

K výpočtu síly na hradítko vycházím ze vztahu mezi tlakem na tlačce a tlakem na dno lisovací komory. Tento vztah je obecný pro stroje, které zpracovávají kovový odpad, například briketovací lisy. V mém případě na místě dna se nachází hradítko.

$$p_t = p_h \cdot e^{\frac{k \cdot O}{S_t} \cdot f \cdot C} \quad (16)$$

Vyjádření:

$$p_h = \frac{p_t}{e^{\frac{k \cdot O}{S_t} \cdot f \cdot C}} = \frac{5,5 \cdot 10^6}{e^{\frac{0,35 \cdot 1,58}{0,132} \cdot 0,221}} = 2188205 \text{ Pa} \quad (17)$$

kde:

p_t	tlak na tlačce ($p_t = p_x = p_{sm}$)
p_h	tlak na hradítko
O	obvod tlačky, $O = 1,58 \text{ m}$
S_t	plocha tlačky
f	součinitel tření ($f = 0,2$ až $0,25$)

Síla působící na hradítko

$$F_h = p_h \cdot S_h \quad (18)$$

$$F_h = p_h \cdot a \cdot b = 2188205 \cdot 0,55 \cdot 0,24 = 288843 \text{ N}$$

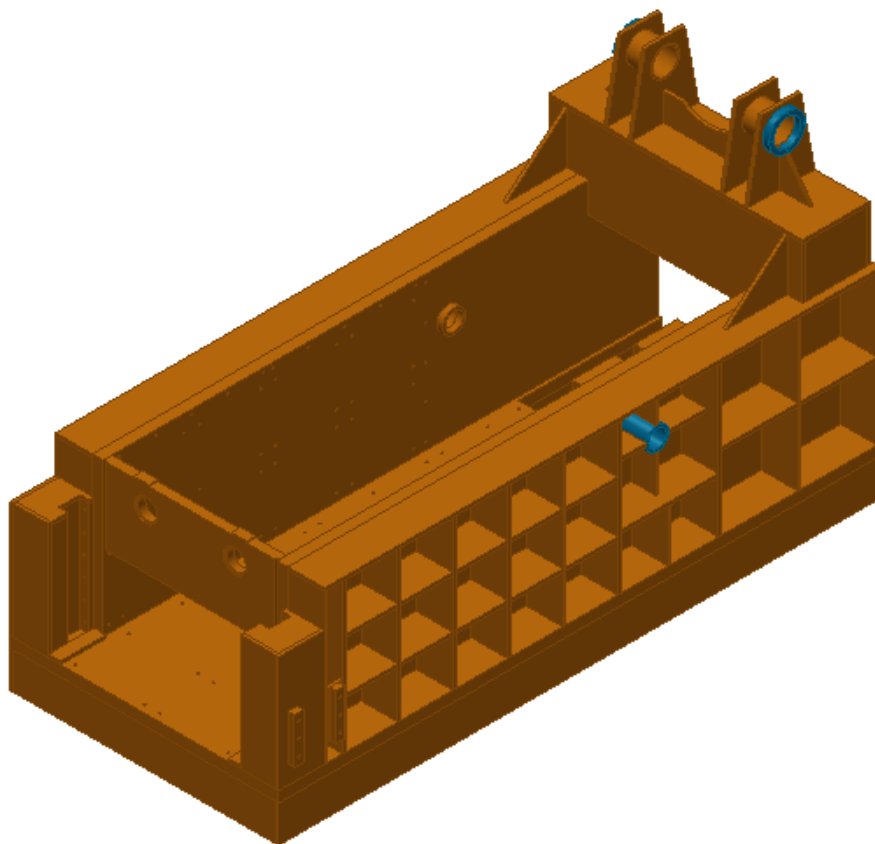
Všechny vypočtené síly následně použiju na pevnostní analýzu.

7 Vlastní návrh paketovacího lisu

Tato kapitola obsahuje popis a pohled na jednotlivé konstrukční části. Součástí jsou také výpočty, popřípadě provedena pevnostní analýza v programu Autodesk Inventor Professional 2015.

7.1 Lisovní Komora

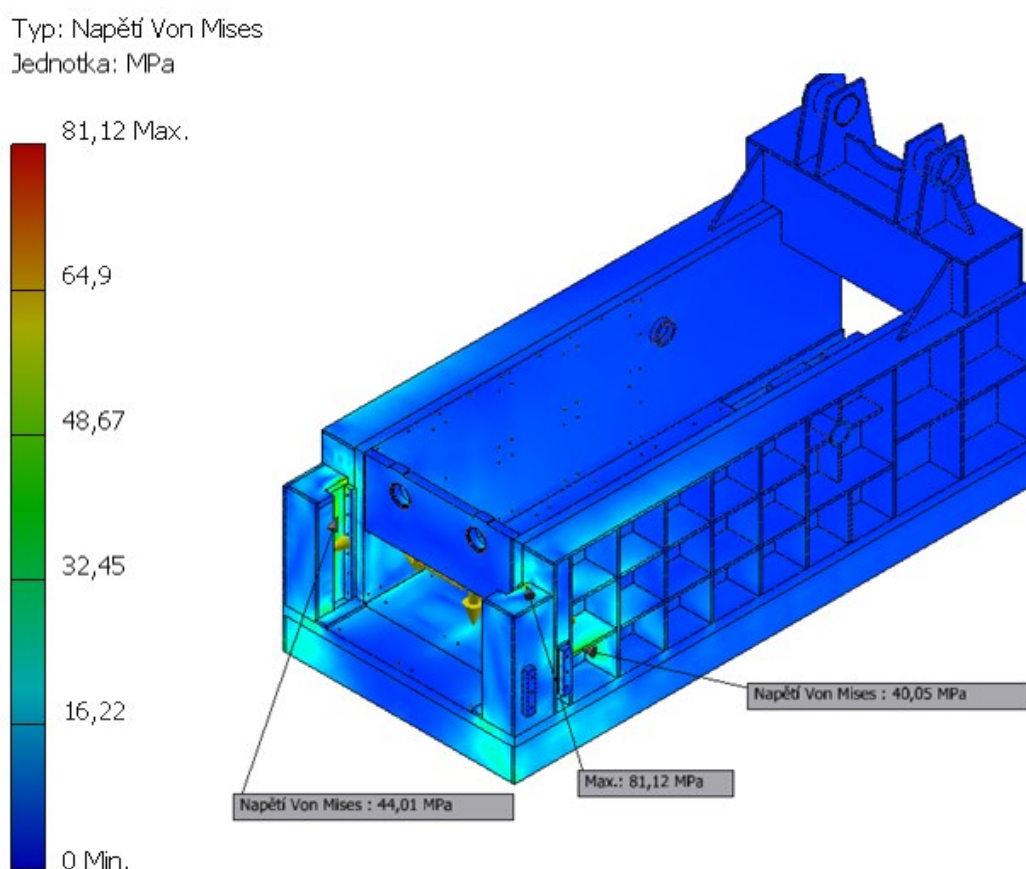
Lisovní komora je svařovaná konstrukce, skládající se z plechů a trubek. Plechy o tloušťce 35 mm tvoří hlavní nosné části (viz výkres č. DP_01_JUC0017 Pozice 1,2,3). Jedná se o dno a dvě boční stěny, přičemž stěny jsou vybavené otvory pro čep na otevírání víka. Tyto nosné části jsou žebrované plechy o tloušťce 10 mm, které vedou k vyšší tuhosti komory. Prostřední plech s díry, spojující stěny slouží k dosednutí víka a pro následné zajištění (viz výkres č. DP_01_JUC0017 Pozice 4). V přední části se nacházejí sloupky vybavené otěruvzdornými lišty, ve kterých bude vedené hradítko. Z vnější části následně přišroubované hydraulické válce hradítka. Součástí je také příčník umístěný v horní části komory, který nese hydraulický válec lisovního víka. Všechny díly, které dojdou ke styku se šrotem, budou vyložené otěruvzdorným materiálem a po obvodu nožovými lištami.



Obr. 22 Komora

7.1.1 Pevnostní kontrola komory

V pevnostní kontrole lisovní komory se zabýváme silami, které působí na stěny paketu respektive na stěny komory, dno a vedení hradítka. Po zavření víka dochází k působení válce dolisu, který vytváří síly na boční stěny $F_b = 124\,740\text{ N}$, sílu na dno $F_c = 285\,862,5\text{ N}$ a sílu na hradítko $F_h = 288\,843\text{ N}$. Tyto síly jsem vypočetl v kapitole 6. Vypočtené zatěžující síly F_b , F_c jsem umístil na plochy, kde se vyskytuje konečný paket a sílu F_h do otvoru pro vedení hradítka. Dotyky jsem zvolil automatické a pevnou vazbu podlahu, která je v tomto modelu skrytá.



Obr. 23 Pevnostní kontrola komory

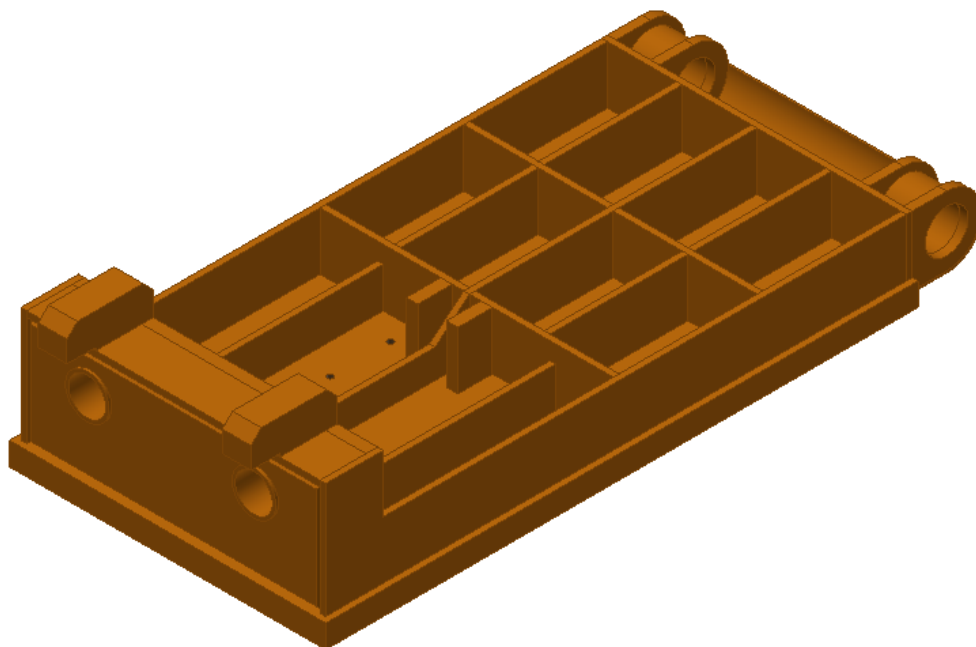
Výsledky

Největší napětí se nachází na vrcholu vedení a jeho hodnota je 81,12 MPa. Do modelu pomocí sond jsem umístil další hodnoty napětí pro lepší přehlednost. Tato úloha je řešena jako statická, musíme vzít v úvahu dynamické vlivy, i přesto výsledek беру jako vyhovující.

7.2 Lisovní víko

K hlavnímu nosnému plechu o tloušťce 40 mm (viz výkres č. DP_02_JUC0017 Pozice 1) jsou převážně přivařené plechy hrubé 10 mm. Původně všechny žebra a vyztužení měly být stejné tloušťky, ale po provedení pevnostní kontroly vznikalo velké napětí, proto pro vybrané části jsem použil plechy silnější (viz výkres č. DP_02_JUC0017 Pozice 2,13,14).

V přední části víka se nachází dorazy (viz výkres č. DP_02_JUC0017 Pozice 4) a trubky, které budou vybavené kovovými vložky pro vedení pojistných čepu. V zadní části bude veden čep v kluzných ložiscích, sloužící pro otevírání a zavírání víka. Stejně jako u lisovní komory, místa dotýkající se šrotu, budou vybavené otěruvzdorným materiálem a po obvodu hlavního plechu nožovými lišty, které slouží k přestřihnutí přečnickujícího materiálu z komory.



Obr. 24 Lisovní víko

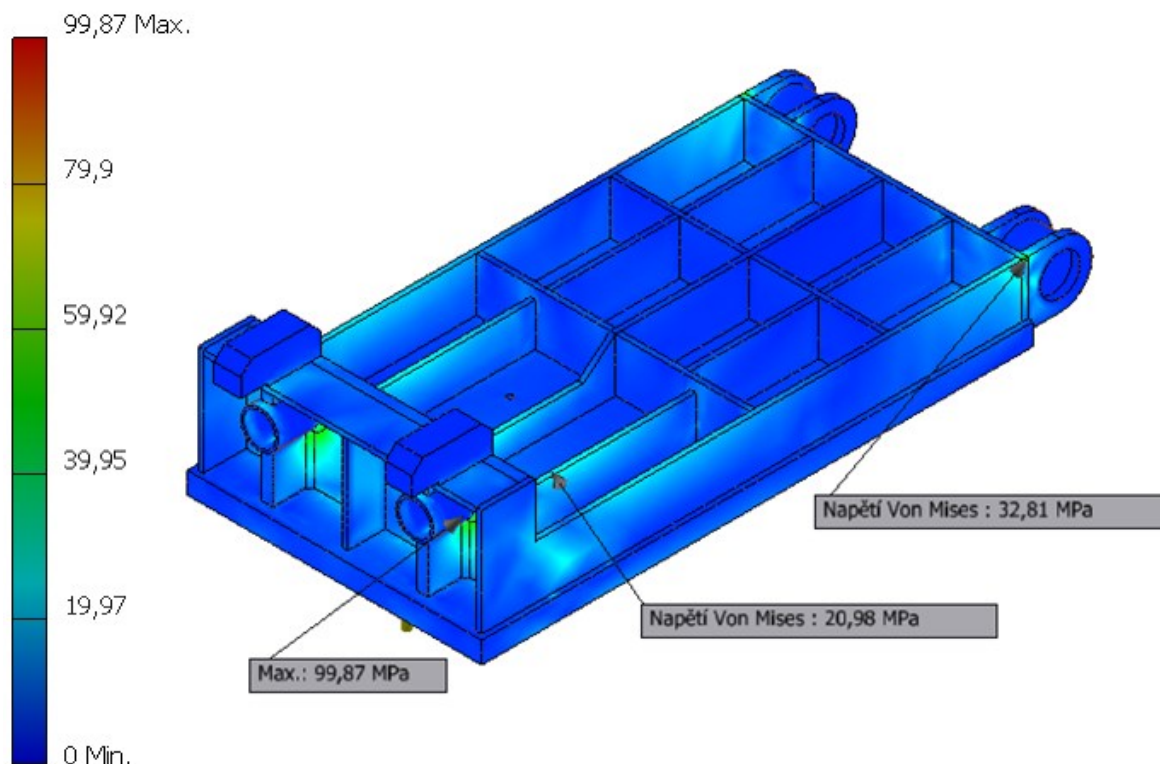
7.2.1 Pevnostní kontrola víka

Na víko působí síla od válce dolisu $F_c = 285\,862,5\text{ N}$ v místě koncového paketu a složka síly válce lisovního víka $F_{vy} = 87\,122\text{ N}$. Tyto síly působí proti sobě, čili došlo by ke zmenšení síly F_c . Do pevnostní kontroly jsem zahrnul pouze sílu F_c , to znamená, že se nacházím na straně bezpečnosti.

Abych analýzu přiblížil nejvíce reálnému stavu, vložil jsem do sestavy čep, kolem kterého se víko otevírá. Tento čep jsem zvolil jako pevnou vazbu společně s otvory pro

pojistné čepy. Dotyky jsem volil automaticky, přičemž následně změnil v místě čepu víka na posouvání/ bez oddělení.

Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa



Obr. 25 Pevnostní kontrola víka

Výsledky

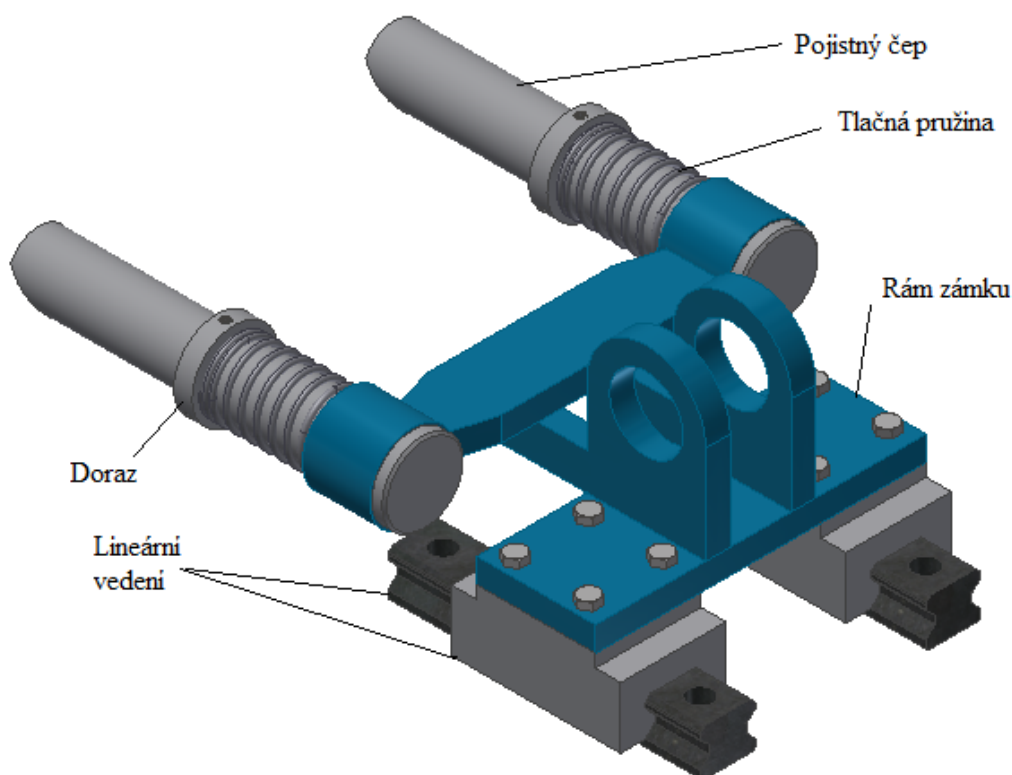
Největší napětí se nachází kolem otvoru pro pojistné čepy a jeho hodnota je 99,87 MPa. Pomocí sondy jsem zjistil také napětí vyskytující se kolem čepu víka, jeho hodnota je 32,81 MPa. Výsledky беру jako vyhovující.

7.3 Zámek lisovního víka

Pojišťovací zařízení tvoří svařovaný rám (viz výkres č. DP_05_JUC0017), který je přišroubován ke dvěma vozíkům. Pomocí lineárního vedení a vozíků je rám schopen pohybu. Pojistné čepy procházející svařovaným rámem jsou zkosené a opatřené drážkou pro péro, které má za úkol zabránit pootočení čepu. Součástí čepu je také rozebíratelný doraz sloužící ke správné funkci tlačné pružiny.

7.3.1 Princip zámku

Při zavírání lisovního víka jsou čepy schovány. Když víko dojde na určitou vzdálenost, dojde k pohybu celého pojistného zařízení pomocí vedení a vozíku. V tuto chvíli dochází k vysunutí čepů z čela víka. Při kontaktu čepů o hranu lisovní komory dochází k jejich zasunutí pomocí zkosené hrany a také ke stlačování pružin. Následně po dojetí víka na doraz, se pružiny vrátí do původní polohy a čepy zajistí lisovní víko. Po dolisování paketu se víko otevře tak, že zámek vykoná nejprve zpětný pohyb po vedení a potom se začne otevírat. Veškeré pohyby obstarává hydraulický válec lisovního víka.

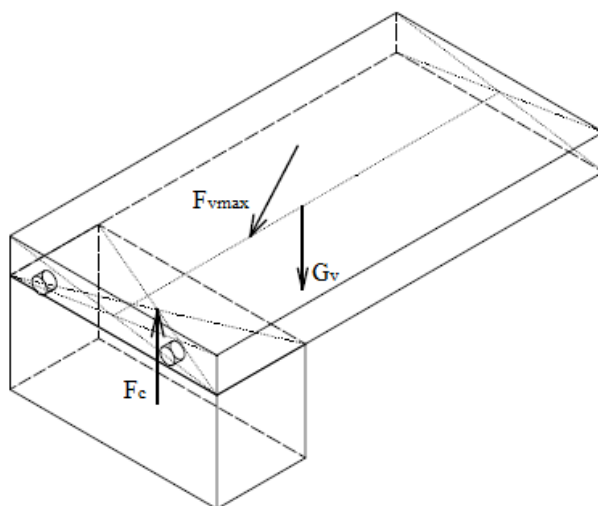


Obr. 26 Pojišťovací zařízení

7.3.2 Návrh pojišťovacích čepů zámku

Pro návrh čepů zámku vycházím ze zjednodušeného modelu (viz obr. 27). Čepy uvažuju za jeden celek společně s víkem a působení všech sil v jedné rovině. Do výpočtu zahrnuju síly od válce lisovního víka F_{vmax} , tíhovou sílu víka G_v a sílu působící od poslední lisovní operace (dolisu) F_c .

Při úplném zavření víka (vodorovná poloha) a zajištěném stavu je úhel sklonu hydraulického válce $16,5^\circ$. Tuto hodnotu použiju v následujícím výpočtu. Po vypočtení reakcí navrhnu průměr čepu z kontroly na střih a zkontroluju na ohyb.



Obr. 27 Schéma zatěžujících sil

Složky sil F_{vmax}

$$F_{vy} = F_{vmax} \cdot \sin \alpha = 306750 \cdot \sin 16,5 = 87122 \text{ N} \quad (19)$$

$$F_{vx} = F_{vmax} \cdot \cos \alpha = 306750 \cdot \cos 16,5 = 294118 \text{ N} \quad (20)$$

Tíha víka

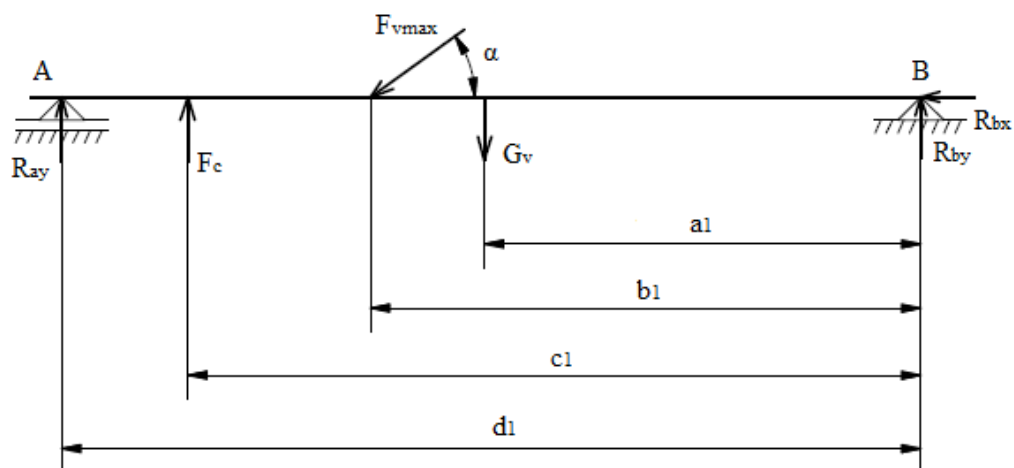
$$G_v = m_v \cdot g = 310 \cdot 9,81 = 3041 \text{ N} \quad (21)$$

kde:

m_v hmotnost víka a zámku, $m_v = 310 \text{ kg}$ (Autodesk Inventor 2015)

Určení reakcí

Všechny vzdálenosti jsem stanovil z 3D modelu.



Obr. 28 Výpočet reakcí

Rovnice rovnováhy v ose x

$$\sum F_x = 0 \quad (22)$$

$$-F_{vx} - R_{bx} = 0 \quad (23)$$

Rovnice rovnováhy v ose y

$$\sum F_y = 0 \quad (24)$$

$$R_{ay} + F_c - F_{vy} - G_v + R_{by} = 0 \quad (25)$$

Vyjádření:

$$R_{by} = G_v + F_{vy} - R_{ay} - F_c = 3041 + 87122 - (-191711) - 285862,5$$

$$R_{by} = -3988,5 \text{ N}$$

Momentová rovnice k bodu B

$$\sum M_B = 0 \quad (26)$$

$$G_v \cdot a_1 + F_{vy} \cdot b_1 - F_c \cdot c_1 - R_{ay} \cdot d_1 = 0 \quad (27)$$

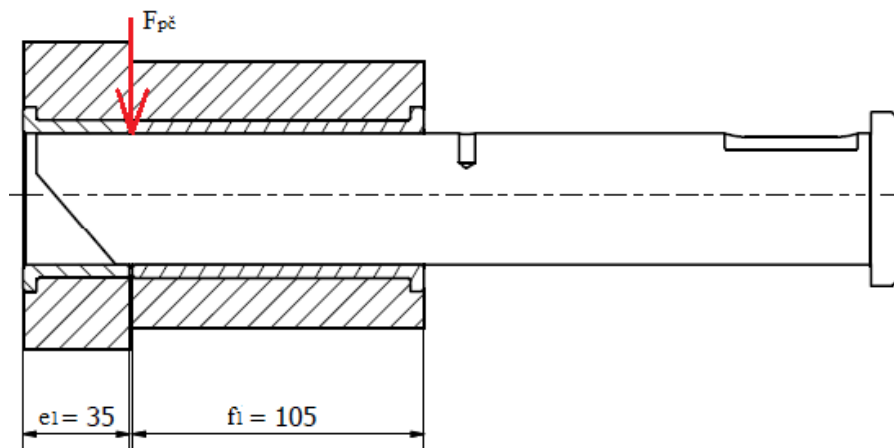
Vyjádření:

$$R_{ay} = \frac{G_v \cdot a_1 + F_{vy} \cdot b_1 - F_c \cdot c_1}{d_1} = \frac{3041 \cdot 0,59 + 87122 \cdot 0,714 - 285826,5 \cdot 0,955}{1,09}$$

$$R_{ay} = -191711 \text{ N}$$

Reakci R_{bx} dopočítávat nemusím, protože ve směru osy x je vozík s lineárním vedením, to znamená, při působení složky F_{vx} vozík popojede.

7.3.3 Kontrola čepů zámku



Obr. 29 Schéma čepu zámku

Výpočet průměru čepu zámku

Pro návrh a kontrolu čepů zámku použiju reakcí R_{ay} . Jelikož pojistné zařízení se skládá se dvou čepů, dopočtu si sílu na jeden čep.

$$F_{pč} = \frac{R_{ay}}{2} = \frac{191711}{2} = 95855,5 \text{ N} \quad (28)$$

Z kontroly na střih určím minimální průměr čepu. Materiál volím 13 180. Pro tento typ oceli je dovolené smykové napětí $\tau_{sDov} = 360 \text{ MPa}$. [4]

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{sDov} \quad (29)$$

$$\tau_s = \frac{F_{pč}}{\frac{\pi \cdot d_{pč}^2}{4}} \leq \tau_{sDov} \quad (30)$$

Vyjádření

$$d_{pč} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{pč}}{\pi \cdot \tau_{sDov}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 95855,5}{\pi \cdot 360}} \quad (31)$$

$$d_{pč} = 18,41 \text{ mm}$$

Z důvodu konstrukčního provedení a větších ohybových napětí volím průměr pojistného čepu $d_{pč} = 55 \text{ mm}$.

Kontrola na otláčení

Otvory pro čepy zámku jsou opatřené kovovými vložkami z konstrukční oceli 11 343. Vložky se nacházejí ve víku, kde je otláčovaná délka $f_1 = 105 \text{ mm}$ a v rámu lisovné komory $e_1 = 35 \text{ mm}$ (viz obr. 29). Tyto vložky, je potřeba zkontrolovat na otláčení. Dovolené napětí v tlaku volím $p_{Dov} = 90 \text{ MPa}$. [3]

Ve víku

$$p = \frac{F}{S} \leq p_{Dov} \quad (32)$$

$$p = \frac{F_{pč}}{f_1 \cdot d_{pč}} = \frac{95855,5}{105 \cdot 55} \leq p_{Dov} \quad (33)$$

$$p = 16,6 \text{ MPa} \leq 90 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

V rámu

$$p = \frac{F}{S} \leq p_{Dov} \quad (34)$$

$$p = \frac{F_{pč}}{e_1 \cdot d_{pč}} = \frac{95855,5}{35 \cdot 55} \leq p_{Dov} \quad (35)$$

$$p = 49,8 \text{ MPa} \leq 90 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

Kontrola na ohyb

Dovolené ohybové napětí materiálu 13 180 volím $\sigma_{oDov} = 520 \text{ MPa}$. [4]

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{oDov} \quad (36)$$

$$\sigma_o = \frac{F_{pč} \cdot \frac{e_1 + f_1}{2}}{\frac{\pi \cdot d_{pč}^3}{32}} = \frac{95855,5 \cdot \frac{35 + 105}{2}}{\frac{\pi \cdot 55^3}{32}} \leq \sigma_{oDov} \quad (37)$$

$$\sigma_o = 410,8 \text{ MPa} \leq 520 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

Čep je namáhán ohybem a smykem, z tohoto důvodu je potřeba provést pevnostní kontrolu. Použiju kontrolu dle Guesta. Ze zvoleného průměru si dopočtu τ_s (napětí ve smyku).

$$\tau_s = \frac{F_{pč}}{\frac{\pi \cdot d_{pč}^2}{4}} = \frac{95855,5}{\frac{\pi \cdot 55^2}{4}} = 40 \text{ MPa} \quad (38)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau_s^2} \leq \sigma_{oDov} \quad (39)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{410,8^2 + 4 \cdot 40^2} = 418,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{oDov} \quad \Rightarrow \quad 418,5 \text{ MPa} \leq 520 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

7.3.4 Tlačná pružina

Zasouvání čepů do otvorů rámu zajišťují tlačné pružiny. Pro výpočet pružin použiju webovou stránku e-konstrukter.cz [23]. Vycházím z tíhové síly čepu a inspiraci od ostatních výrobců paketovacích lisů. Jelikož můj zástavbový prostor je omezený, navrhnu pružinu dle rozměru. Pro výpočet je uvažovaný materiál – pružinová ocel. Dovolené napětí ve smyku $\tau_{Dov} = 500 \text{ MPa}$. [23]

Tíha čepu

$$G_{pč} = m_{pč} \cdot g = 6 \cdot 9,81 = 58,9 \text{ N} \quad (40)$$

kde

$m_{pč}$ hmotnost čepu zvolena dle programu Autodesk Inventor 2015

Vstupní parametry

Tyto hodnoty volím s ohledem na můj prostor v oblasti víka a pojišťovacího zařízení.

Tabulka 8 Vstupní parametry tlačné pružiny

Parametr	Značka	Hodnota
Průměr drátu	d_p	5 mm
Volná délka pružiny	l_o	90 mm
Vnější průměr pružiny	D_p	65mm
Počet činných závitů	n	7

Výstupní hodnoty

Vypočtené hodnoty z webové stránky e-konstrukter.cz

Tabulka 9 Výstupní hodnoty tlačné pružiny

Parametr	Značka	Hodnota
Tuhost pružiny	k_1	4,2 N/mm
Max. síla pružiny	F_8	189,3 N
Max. smykové napětí v drátu	τ_{sDov}	278,1 MPa
Max. stlačení pružiny	l_8	45 mm
Délka drátu pružiny	L_1	1699,5 mm

Výsledná maximální síla pružiny je dostačující, aby přetlačila tíhovou sílu čepu. Toto je jen kontrolní výpočet. Hlavní inspiraci jsem hledal při zpracování rešerše a sledování různých videí, kde se podobná pružina často vyskytovala.

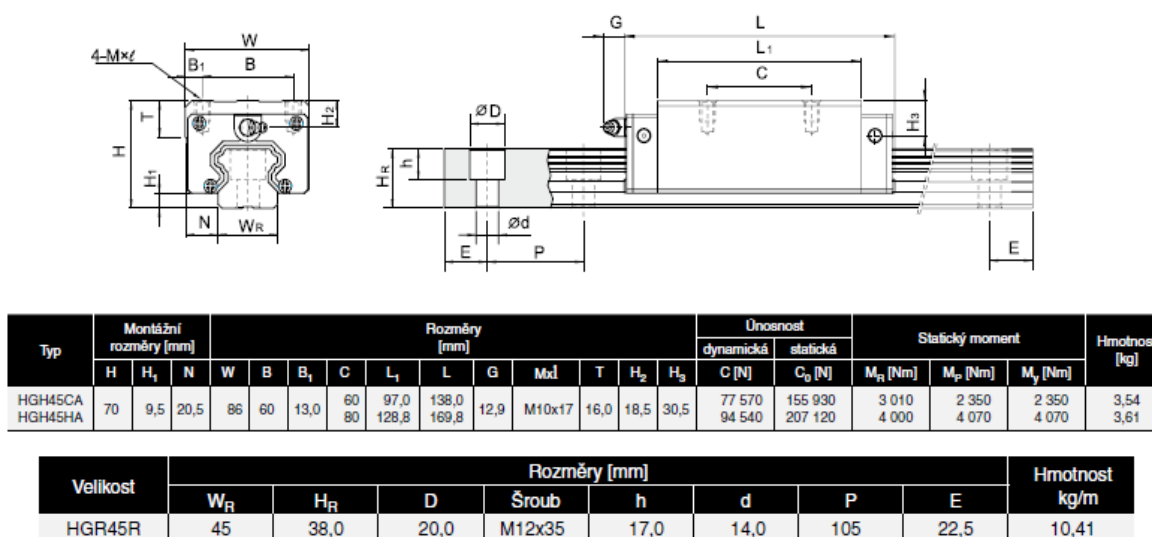
7.3.5 Lineární vedení

Poslední částí zámku lisovního víka, aby zastávala správnou funkci, je volba lineárního vedení, sloužící hlavně k odjištění čepu. Volím pár lineárního vedení od firmy

T. E. A. Technik. Na vedení působí zatěžující síla od hydraulického válce lisovního víka v ose y, tj. $F_{vy} = 87122 \text{ N}$. Jelikož můj zámek obsahuje dvě vedení, dopočítám si sílu působící na jedno a poté zvolím z katalogu určitý typ.

$$F_{lv} = \frac{F_{vy}}{2} = \frac{87122}{2} = 43561 \text{ N} \quad (41)$$

Na základě vypočtené síly, dle katalogu jsem vybral typ vedení HGH45CA krátký, které má dynamickou únosnost $C = 77570 \text{ N}$ a statickou únosnost $C_o = 155930 \text{ N}$. [16]



Obr. 30 Parametry lineárního vedení [16]

Z katalogu použiju vzorce a různé součinitele na výpočet životnosti lineárního vedení. Ze vztahu pro koeficient bezpečnosti při statickém zatížení f_{SL} určím statickou ekvivalentní únosnost P.

$$f_{SL} = \frac{C_o}{P} \quad (42)$$

$$P = \frac{C_o}{f_{SL}} = \frac{155930}{3} = 51976.7 \text{ N} \quad (43)$$

Součinitel f_{SL} jsem zvolil z katalogu. [16]

Jmenovitá životnost

Skutečné zatížení ovlivňuje jmenovitou životnost profilového kolejnicového vedení. Pomocí zvolené dynamické únosnosti a dynamicky ekvivalentního zatížení lze vypočítat jmenovitou životnost podle následujícího vzorce. [16]

$$L_m = \left(\frac{C_d}{P} \right)^3 \cdot 50000 \quad (44)$$

$$L_m = \left(\frac{77570}{51976,7} \right)^3 \cdot 50000 = 166197,8 \text{ m}$$

Výpočet životnosti

$$L_h = \frac{L \cdot 10^3}{v \cdot 60} \quad (45)$$

$$L_h = \frac{166197,8 \cdot 10^3}{130 \cdot 60} = 21307 \text{ h}$$

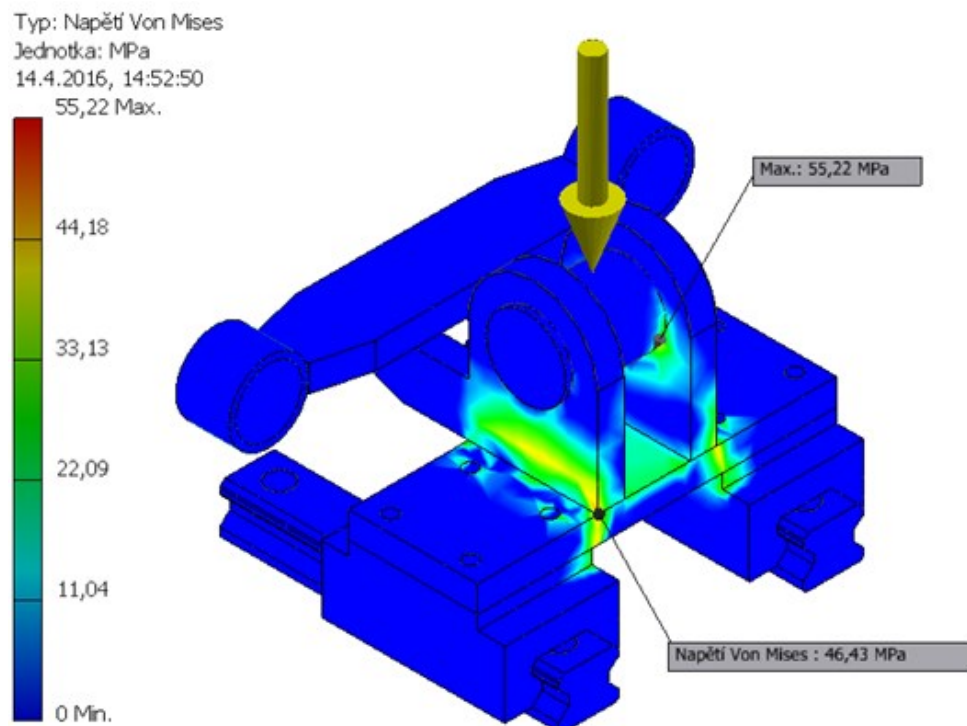
kde

C_d dynamická únosnost

v rychlost, zvolena z katalogu[16]

7.3.6 Pevnostní kontrola zámku

Na zámek působí síla hydraulického válce víka a to složka $F_{vy} = 87122 \text{ N}$. Sílu jsem umístil na místo čepu a pevnou vazbu na kolejnice lineárního vedení. Dotyky jsou zde řešeny automaticky.



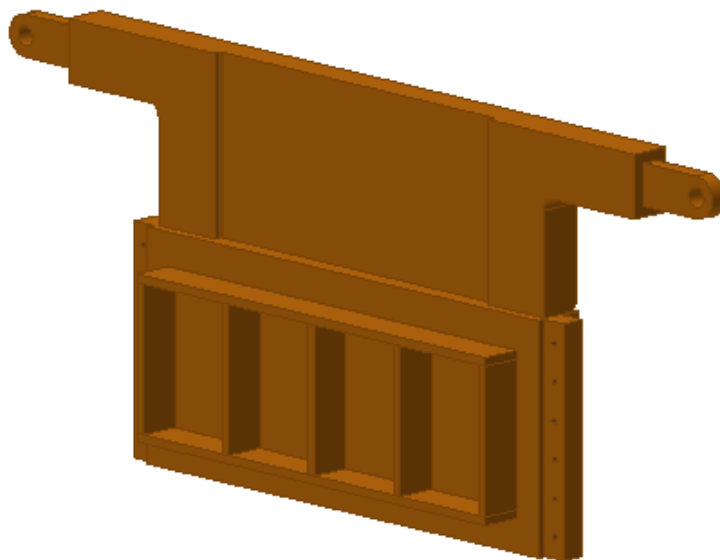
Obr. 31 Pevnostní kontrola zámku

Výsledky

Z obrázku vidíme, že největší napětí se nachází v oku čepu a jeho hodnota je 55,22 MPa. Pomocí sondy jsem zjistil druhé největší napětí, které se vyskytuje v místě spoje základové desky a oka čepu, jeho hodnota je 46,43 MPa. Výsledky napětí v rámu pojišťovacího zařízení беру jako vyhovující.

7.4 Hradítko

Tento svařenec je složený ze silných plechů vyztuženými žebry na čelní straně hradítka. Na bocích jsou nachystané drážky pro otěruvzdorné lišty a v horní části díly s otvory pro čepy (viz výkres č. DP_03_JUC0017 Pozice 3), které budou spojovat hradítko s hydraulickými válci. Hlavní funkce hradítka je uzavření lisovní komory a následné otevření a vypuštění paketu.



Obr. 32 Hradítko

7.4.1 Návrh čepu hradítka

Pro výpočet čepu uvažuji s tíhovou silou hradítka a do výpočtu také zahrnu případnou třecí sílu, která by vznikla při otevření s paketem. Na hradítko působí síla od lisovní operace dolisu $F_h = 288843 \text{ N}$. Při otevírání hradítka sice dochází k odtlačování dolisu, aby otevření proběhlo bez problému, ale pro výpočet uvažuji, že odtlačování neproběhne. Hmotnost hradítka m_h určím z programu Autodesk Inventor 2015.

Tíha hradítka

$$G_h = m_h \cdot g = 153,5 \cdot 9,81 = 1505,8 \text{ N} \quad (46)$$

Třecí síla

$$T = N \cdot f = 288843 \cdot 0,1 = 28884,3 \text{ N} \quad (47)$$

kde

f součinitel smykového tření, $f = 0,1[22]$

N normálová síla, $N = F_h$

Celková síla

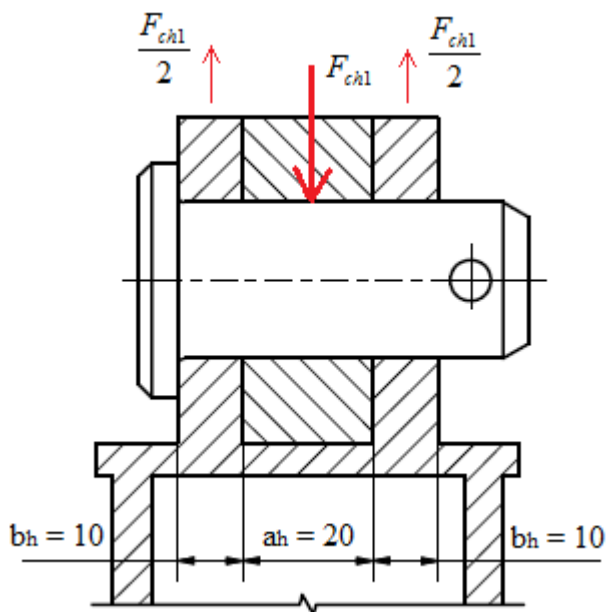
$$F_{Ch} = G_h + T = 1505,8 + 28884,3 = 30390,1 \text{ N} \quad (48)$$

Návrh průměru čepu

Materiál čepu volím 11 700. Jelikož hradítko obsahuje dva čepy, zatěžující sílu na jeden čep si dopočtu. Průměr čepů volím $d_h = 24 \text{ mm}$. Působení síly uvažuji uprostřed (obr. 33). Čep následně zkontroluji na ohyb, stříh a otláčení v místě působení síly F_{ch1}

Síla působící na jeden čep

$$F_{Ch1} = \frac{F_{Ch}}{2} = \frac{30390,1}{2} = 15195 \text{ N} \quad (49)$$



Obr. 33 Schéma čepu hradítka

Kontrola na otláčení

Dovolené napětí v tlaku pro materiál 11 700 $p_{Dov} = 160 \text{ MPa}$. [3]

$$p = \frac{F}{S} \leq p_{Dov} \quad (50)$$

$$p = \frac{F_{ch1}}{a_h \cdot d_h} = \frac{15195}{20 \cdot 24} \leq p_{Dov} \quad (51)$$

$$p = 31,7 \text{ MPa} \leq 160 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

Kontrola na střih

Dovolené napětí ve smyku (stříhu) pro materiál 11 700 $\tau_{sDov} = 100 \text{ MPa}$. [3]

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{sDov} \quad (52)$$

$$\tau_s = \frac{F_{ch1}}{\frac{\pi \cdot d_h^2}{4}} = \frac{15195}{\frac{\pi \cdot 24^2}{4}} \leq \tau_{sDov} \quad (53)$$

$$\tau_s = 33,6 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa}$$

Kontrola na ohyb

Dovolené napětí v ohybu materiálu 11 700 $\sigma_{oDov} = 180 \text{ MPa}$. [3]

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{oDov} \quad (54)$$

$$\sigma_o = \frac{\frac{F_{ch1}}{2} \cdot \left(\frac{a_h + b_h}{2}\right)}{\frac{\pi \cdot d_h^3}{32}} = \frac{\frac{15195}{2} \cdot \left(\frac{20 + 10}{2}\right)}{\frac{\pi \cdot 24^3}{32}} \leq \sigma_{oDov} \quad (55)$$

$$\sigma_o = 84 \text{ MPa} \leq 180 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

Kontrola dle Guesta

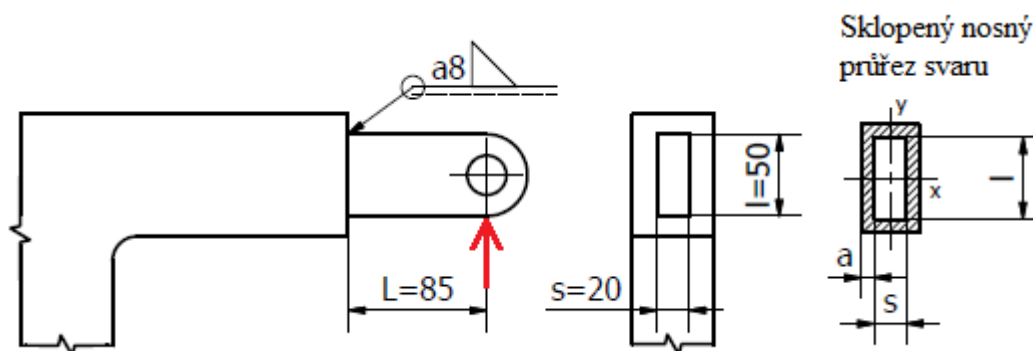
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau_s^2} \leq \sigma_{oDov} \quad (56)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{84^2 + 4 \cdot 33,6^2} = 107,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{oDov} \quad \Rightarrow \quad 107,6 \text{ MPa} \leq 180 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

7.4.2 Kontrola svarového spoje

Při kontrole koutového svarového spoje vycházím ze síly $F_{ch1} = 15195 \text{ N}$, která působí v místě čepu. Účinkem této síly je svar namáhán současně ohybem a smykem. Velikost svaru volím $a_{SV1} = 8$. Tuto situaci budu uvažovat jako vetknutý nosník.



Obr. 34 Schéma svaru

Napětí od ohybového momentu

$$\tau_{\perp}^{M_o} = \frac{M_o}{W_{oxSV}} = \frac{F_{ch1} \cdot L}{J_{SVx} \cdot \left(\frac{l}{2} + a_{SV1} \right)} = \frac{15195 \cdot 85}{654155 \cdot \left(\frac{50}{2} + 8 \right)} = 65,2 \text{ MPa} \quad (57)$$

$$J_{SVx} = \frac{1}{12} \cdot \left[(s + 2 \cdot a_{SV1}) \cdot (l + 2 \cdot a_{SV1})^3 - s \cdot l^3 \right] \quad (58)$$

$$J_{SVx} = \frac{1}{12} \cdot \left[(20 + 2 \cdot 8) \cdot (50 + 2 \cdot 8)^3 - 20 \cdot 50^3 \right] = 654155 \text{ mm}^4$$

Napětí od posouvající síly

$$\tau_{\parallel}^F = \frac{F_{ch1}}{2 \cdot S_{SV}} = \frac{F_{ch1}}{(s + 2 \cdot a_{SV1}) \cdot (l + 2 \cdot a_{SV1}) - s \cdot l} \quad (59)$$

$$\tau_{\parallel}^F = \frac{15195}{(20 + 2 \cdot 8) \cdot (50 + 2 \cdot 8) - 20 \cdot 50} = 11 \text{ MPa}$$

Součinitel tloušťky koutového svaru

$$\beta = 1 \quad \text{pro } t = \frac{a_{SV1}}{0,7} \geq 10 \text{ mm} \quad t = \frac{8}{0,7} = 11,4 \text{ mm} \geq 10 \text{ mm} \quad (60)$$

Výsledné napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}^{M_o}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}^F}{k_4}\right)^2} \leq \beta \cdot \frac{R_e}{k_s} \quad (61)$$

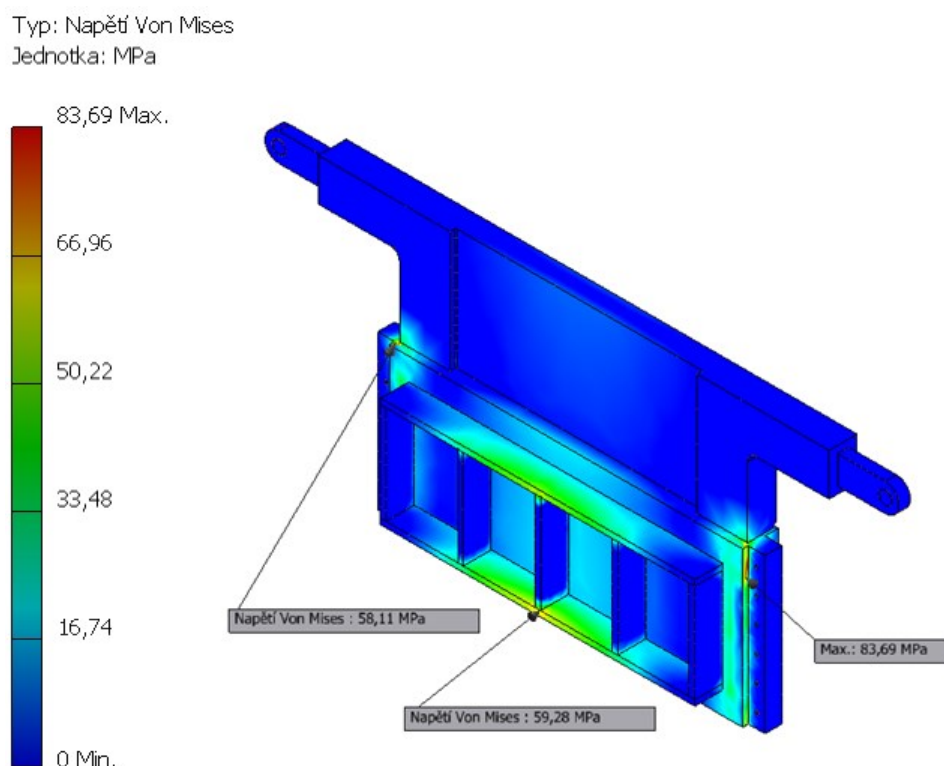
$$\sigma_{red} = \sqrt{\left(\frac{65,2}{0,9}\right)^2 + \left(\frac{11}{0,8}\right)^2} \leq 1 \cdot \frac{420}{1,7}$$

$$\sigma_{red} = 73,7 \text{ MPa} \leq 247 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

Převodní součinitele volím $k_3 = 0,9$ a $k_4 = 0,8$. [1] Statickou bezpečnost $k_s = 1,7$, která se standardně pohybuje v rozmezí $1,25 \div 2$. Mez kluzu svarového kovu volím $R_e = 420 \text{ MPa}$. Jedná se o svařovací dráty typu Böhler EMK 6, používané pro svařovací metodu MAG. [17]

7.4.3 Pevnostní kontrola hradítka

Na hradítko působí síla přepočtena od hydraulického válce dolisu $F_h = 288843 \text{ N}$. Tuto sílu jsem umístil do místa, kde se vyskytuje konečný paket. Pevnou vazbu do vedení na obou stranách.



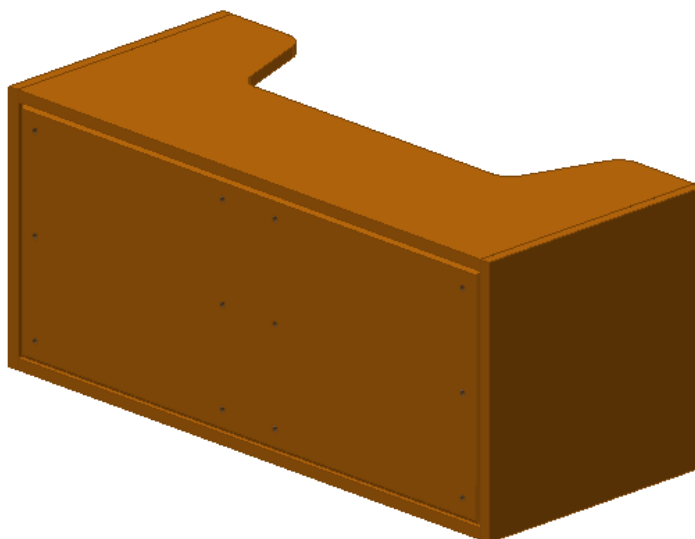
Obr. 35 Pevnostní kontrola hradítka

Výsledky

Největší napětí se nachází v místech otěruvzdorných lišt na bocích hradítka, jeho hodnota je 83,69 MPa. Další hodnoty napětí můžeme vidět z obrázku. Výsledky pevnostní kontroly hradítka jsou vyhovující.

7.5 Tlačka

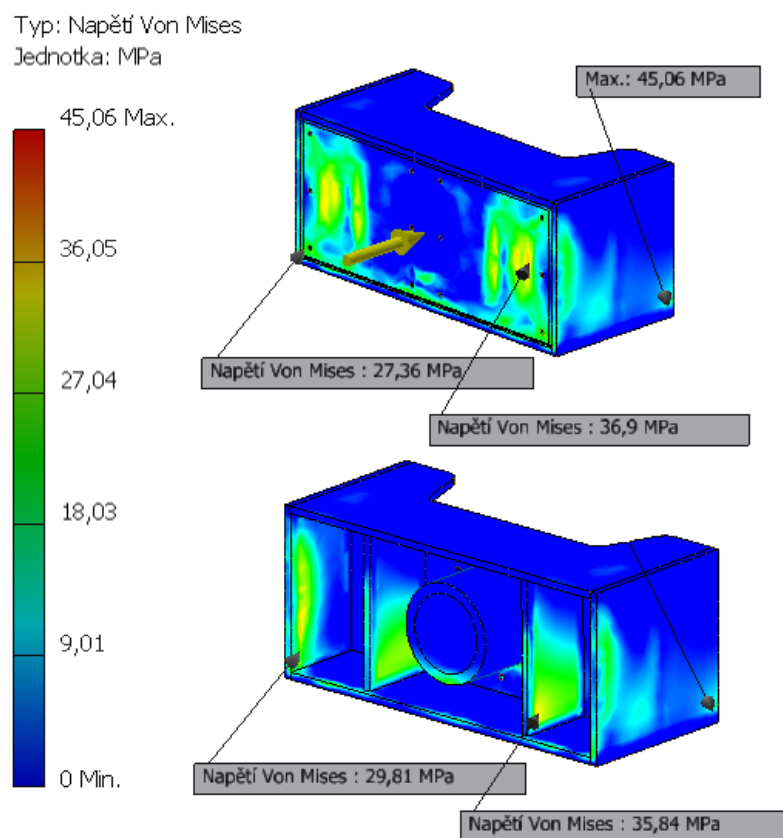
Posledním konstrukčním uzlem mého návrhu je tlačka. Dno tlačky jezdící po dně komory je z otěruvzdorného materiálu a také čelo bude opatřeno tímto materiálem. Uvnitř tlačky jsou přivařena žebra, které zpevňují celou konstrukci. K tuhosti přispívá také příruba, přišroubovaná na pístnici hydraulického válce, která spojuje tlačku s válcem.



Obr. 36 Tlačka

7.5.1 Pevnostní kontrola tlačky

Sílu působící na tlačku, uvažuji jako akci a reakci síly, která působí na hradítko, čili $F_h = 288843 \text{ N}$. Umístění síly můžeme vidět z obrázku.



Obr. 37 Pevnostní kontrola tláčky

Výsledky

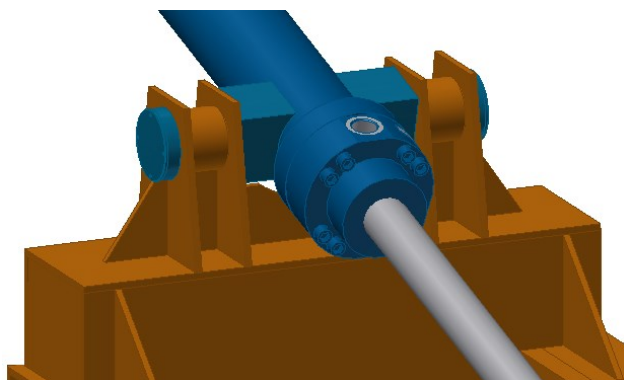
Největší napětí se vyskytuje ve spoji dna s bočním plechem, a to 45,06 MPa. Ostatní hodnoty vyčteme z obrázku. Výsledné hodnoty jsou vyhovující.

8 Uložení hydraulických válců

Můj návrh paketovacího lisu obsahuje 4 hydraulické válce. První, uloženy v příčnicku komory, pohání lisovní víko. Druhý, umístěny v lisovní komoře, pohání tlačku. Třetí a čtvrtý válec slouží k otevírání a zavírání hradítka, jež jsou přišroubované vně komory.

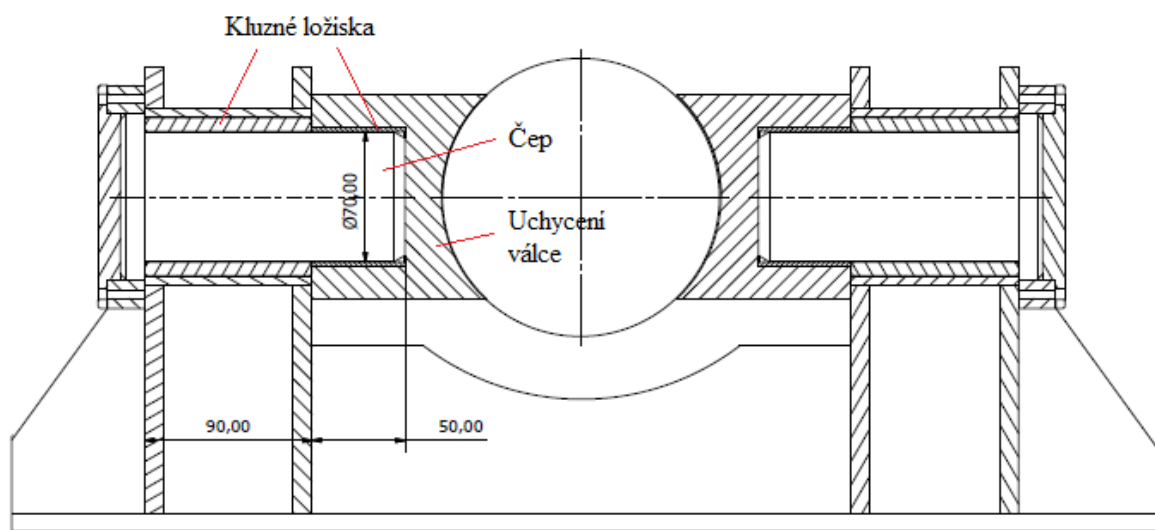
8.1 Uložení válce lisovního víka

Válec dle katalogu firmy Bosch Rexroth je klasicky vyráběn s objímkou s pevnými čepy. Jelikož příčník s ložiskovými tělesy je svařený v jeden celek nechám, vyrobit válec s otvory pro čepy, které se následně do něj zasunou. Čepy jsou uloženy v hydraulickém válci i v ložiskových tělesech v kluzných ložiscích SKF (viz výkres č. DP_00_JUC0017 Pozice 9, 43, 44). Proti axiálnímu pohybu jsou zajištěné víčky.



Obr. 38 Uložení válce lisovního víka

8.1.1 Návrh čepu



Obr. 39 Výpočtové schéma uložení válce

Pro toto uložení válce navrhují čepy o průměru 70 mm. Tento průměr následně zkontroluji na střih a ohyb. Materiál čepu volím 13 180 z důvodu velkých ohybových napětí. V krajní situaci může na čepy působit síla hydraulického válce $F_{v\max} = 306750 \text{ N}$, jako akce a reakce. V uložení se nacházejí dva čepy, z toho důvodu si dopočtu sílu působící na jeden čep.

Síla působící na jeden čep

$$F_{v\check{c}} = \frac{F_{v\max}}{2} = \frac{306750}{2} = 153375 \text{ N} \quad (62)$$

Kontrola na střih

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{sDov} \quad (63)$$

$$\tau_s = \frac{F_{v\check{c}}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}v}^2}{4}} = \frac{153375}{\frac{\pi \cdot 70^2}{4}} \leq \tau_{sDov} \quad (64)$$

$$\tau_s = 39,85 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

kde:

$$\tau_{sDov} \quad \text{Dovolené napětí ve smyku, } \tau_{sDov} = 360 \text{ MPa [4]}$$

Kontrola na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{oDov} \quad (65)$$

$$\sigma_o = \frac{F_{v\check{c}} \cdot l}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}v}^3}{32}} = \frac{153375 \cdot 50}{\frac{\pi \cdot 70^3}{32}} \leq \sigma_{oDov} \quad (66)$$

$$\sigma_o = 227,7 \text{ MPa} \leq 520 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

kde:

$$\sigma_{oDov} \quad \text{Dovolené napětí v ohybu, } \sigma_{oDov} = 520 \text{ MPa [4]}$$

Kontrola dle Guesta

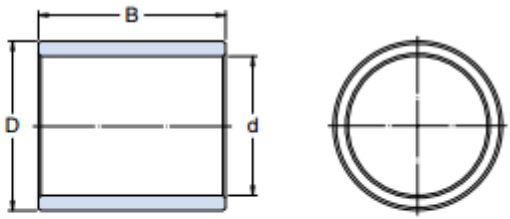
$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 4 \cdot \tau_s^2} \leq \sigma_{oDov} \quad (67)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{227,7^2 + 4 \cdot 39,85^2} = 241,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{oDov} \quad \Rightarrow \quad 241,2 \text{ MPa} \leq 520 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

8.1.2 Návrh kluzných ložisek

Ložiskové tělesa, přivařená na příčnicku, obsahují dvě kluzné ložiska od firmy SKF. Jedná se o PBM 708590 z masivního bronzu (viz výkres č. DP_00_JUC0017 Pozice 44).

Charakteristiky:					
Příp. zatížení (dyn/stat), N/mm ²	50/140				
Přípustná kluzná rychlost, m/s	0,5				
Součinitel tření μ (s mazivem)	0,08 .. 0,15				
Teplotní rozsah, °C	-40 .. +150				
Doporučení:					
Tolerance hřídele	e7 – e8	Označení	d mm	D mm	B mm
Tolerance tělesa	H7				
Povrchová drsnost R_a , μm	0,8 .. 1,6				
Tvrdost hřídele, HB	180 .. 400				
		PBM 708590	70	85	90

Obr. 40 Charakteristiky ložiska PBM[18]

Kontrola na otláčení

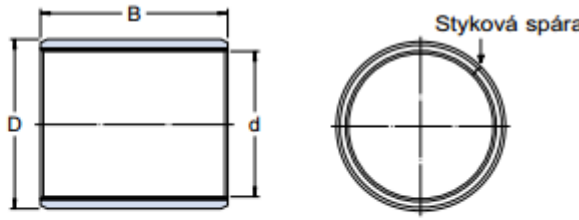
Při kontrole tlaku v ložiskách uvažuju s působením maximální síly od hydraulického válce víka $F_{v\max} = 306750 \text{ N}$.

$$p = \frac{F}{S} \leq p_{Dov} \quad (68)$$

$$p = \frac{F_{v\max}}{2 \cdot d_{\text{čv}} \cdot l_{B1}} = \frac{306750}{2 \cdot 70 \cdot 90} \leq p_{Dov} \quad (69)$$

$$p = 24,3 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

V uchycení hydraulického válce se také nachází dvě ložiska, tentokrát typ PCM 707550 B z kompozitu PTFE (viz výkres č. DP_00_JUC0017 Pozice 43).

Charakteristiky:					
Příp. zatížení (dyn/stat), N/mm ²	80/250				
Přípustná kluzná rychlost, m/s	2,0				
Součinitel tření μ	0,03 .. 0,08				
Teplotní rozsah, °C	-200 .. +250				
Doporučení:					
Tolerance hřídele	f6 – h7	Označení	d mm	D mm	B mm
Tolerance tělesa	H7				
Povrchová drsnost R_a , μm	0 .. 0,4				
Tvrdost hřídele, HB	300 – 600				
		PCM 707550 B	70	75	50

Obr. 41 Charakteristika ložiska PCM[18]

Kontrola na otlačení

Opět uvažuju se silou válce víka $F_{v\max} = 306750 \text{ N}$.

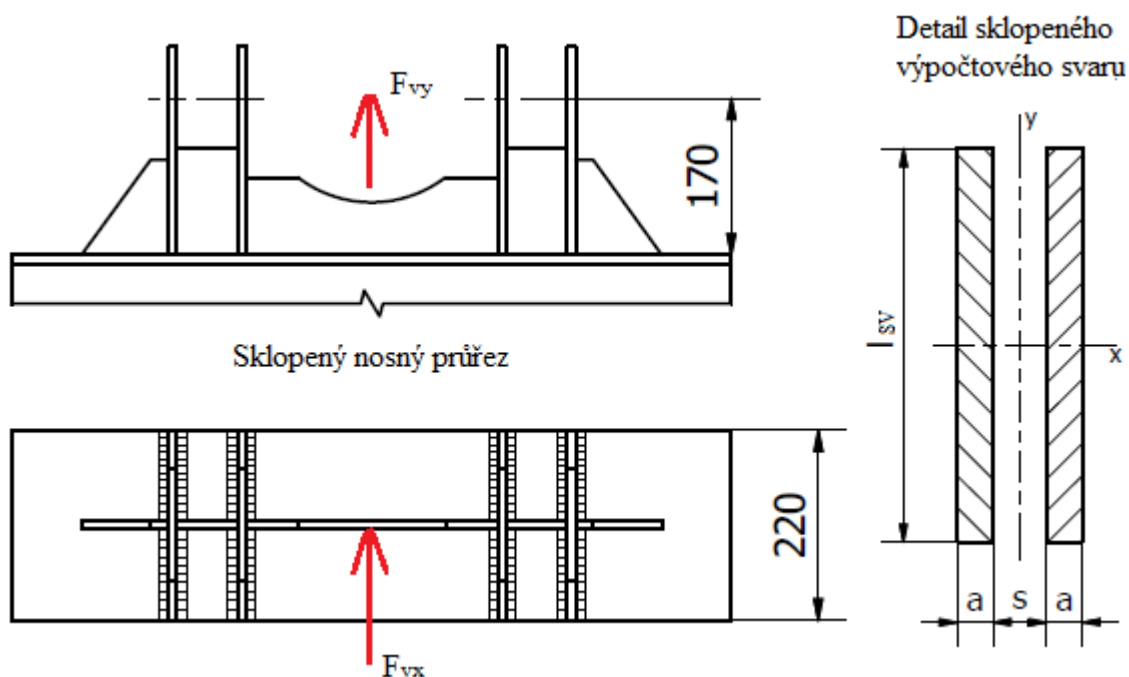
$$p = \frac{F}{S} \leq p_{Dov} \quad (70)$$

$$p = \frac{F_{v\max}}{2 \cdot d_{\check{v}} \cdot l_{B2}} = \frac{306750}{2 \cdot 70 \cdot 50} \leq p_{Dov} \quad (71)$$

$$p = 43,8 \text{ MPa} \leq 80 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

8.1.3 Kontrola svarových spojů

Provedu kontrolu svarů v místě spojení ložiskových těles s příčnickem. Do výpočtu zahrnuji pouze svary znázorněné ve schématu (obr. 42), ostatní svary žebër zvyšují tuhost a ve výpočtu s nimi neuvažuju. Velikost koutových svarů volím $a_{SV2} = 6 \text{ mm}$ a svařovací drát opět Böhler EMK 6, kde mez kluzu $R_e = 420 \text{ MPa}$. Počítám se složkami síly hydraulického válce víka $F_{vy} = 87\,122 \text{ N}$ a $F_{vx} = 294\,118 \text{ N}$.



Obr. 42 Výpočtové schéma svarů

Výpočtová délka svarového spoje je menší než skutečná, zapříčiněna stékáním taveniny na koncích svarů.

$$l_{SV2} = l'_{SV2} - 2 \cdot a_{SV2} = 220 - 2 \cdot 6 = 208 \text{ mm} \quad (72)$$

kde: l_{SV2} - výpočtová délka svaru, l'_{SV2} - skutečná délka svaru, a_{SV2} - velikost svaru

Součinitel tloušťky koutového svaru

$$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot t = 1,3 - 0,03 \cdot \frac{a_{SV2}}{0,7} = 1,3 - 0,03 \cdot \frac{6}{0,7} = 1,04 \quad (73)$$

Namáhání od složky válce F_{vy}

$$\tau_{\perp}^{F_{vy}} = \frac{F_{vy}}{S_{sv}} = \frac{F_{vy}}{8 \cdot (a_{SV2} \cdot l_{SV2})} = \frac{87122}{8 \cdot (6 \cdot 208)} = 8,7 \text{ MPa} \quad (74)$$

Namáhání od složky válce F_{vx}

Ohyb

$$\tau_{\perp}^{M_o} = \frac{M_o}{W_{oxSV}} = \frac{F_{vx} \cdot r_p}{8 \cdot \frac{a_{SV2} \cdot l_{SV2}^2}{6}} = \frac{294118 \cdot 170}{8 \cdot \frac{6 \cdot 208^2}{6}} = 144,5 \text{ MPa} \quad (75)$$

Smyk

$$\tau_{//}^{F_{vx}} = \frac{F_{vx}}{S_{SV}} = \frac{F_{vx}}{8 \cdot a_{SV2} \cdot l_{SV2}} = \frac{294118}{8 \cdot 6 \cdot 208} = 29,5 \text{ MPa} \quad (76)$$

Převodní součinitelé koutových svarů volím $k_3 = 0,9$ a $k_4 = 0,8$. [3]

Výsledné napětí

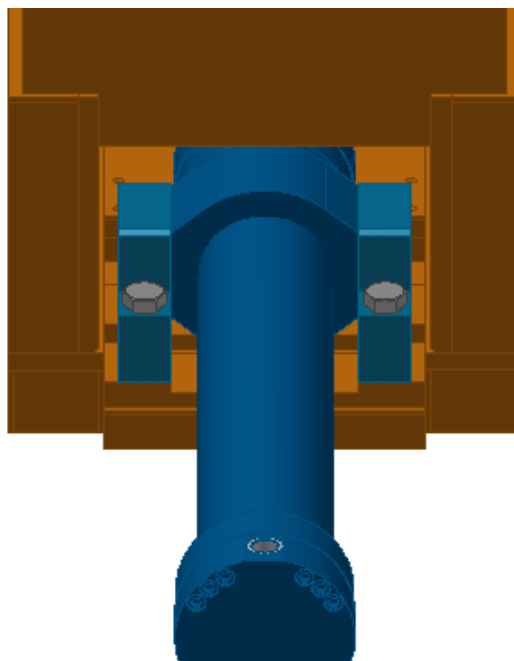
$$\sigma_{red} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}^{F_{vy}} + \tau_{\perp}^{M_o}}{k_3}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{//}^{F_{vx}}}{k_4}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{8,7 + 144,5}{0,9}\right)^2 + \left(\frac{29,5}{0,8}\right)^2} = 174,1 \text{ MPa} \quad (77)$$

$$\sigma_{red} \leq \beta \cdot \frac{R_e}{k_s} = 1,04 \cdot \frac{430}{1,7} = 263 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = 174,1 \text{ MPa} \leq 263 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

8.2 Uložení válce dolisu

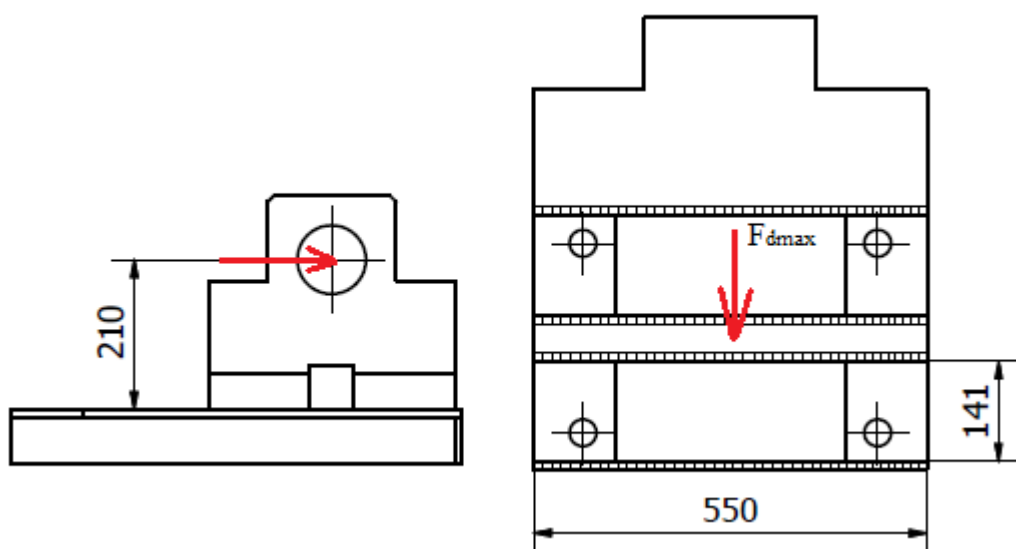
Hydraulický válec je uložený v radiálních držácích (viz výkres č. DP_00_JUC0017 Pozice 40). Jedná se o typ válce s pevnou objímkou a čepy. Tento celek je vybrán z katalogu od firmy Bosch Rexroth a je přišroubován k přivařeným patkám umístěných na dně lisovní komory (viz výkres č. DP_01_JUC0017 Pozice 5).



Obr. 43 Uložení válce dolisu

8.2.1 Kontrola svarového spoje

Kontrolované svary spojují patky, nesoucí radiální držáky, se dnem lisovnické komory. Výpočtový sklopený průřez můžeme vidět z obr. 44. Uvažují s maximální silou hydraulického válce dolisu $F_{d\max} = 785250 \text{ N}$. Velikost koutových svarů volím $a_{SV3} = 8 \text{ mm}$ a svařovací drát opět Böhler EMK 6, kde mez kluzu $R_e = 420 \text{ MPa}$.



Obr. 44 Výpočtové schéma svarů dolisu

Výpočtová délka svaru

$$l_{SV3} = l'_{SV3} - 2 \cdot a_{SV3} = 550 - 2 \cdot 8 = 534 \text{ mm} \quad (78)$$

Součinitel tloušťky koutového svaru

$$\beta = 1 \quad \text{pro } t = \frac{a_{SV3}}{0,7} \geq 10 \text{ mm} \quad t = \frac{8}{0,7} = 11,4 \text{ mm} \geq 10 \text{ mm} \quad (79)$$

Namáhání od síly válce

Tlak

$$\tau_{\perp}^{F_{d\max}} = \frac{F_{d\max}}{S_{SV}} = \frac{F_{d\max}}{4 \cdot (a_{SV3} \cdot l_{SV3})} = \frac{785250}{4 \cdot (8 \cdot 534)} = 45,95 \text{ MPa} \quad (80)$$

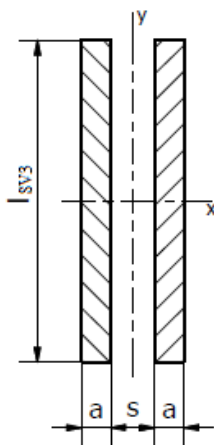
ohyb

$$\tau_{\perp}^{M_o} = \frac{M_o}{W_{oySV}} = \frac{F_{vx} \cdot r_d}{J_y} = \frac{785250 \cdot 210}{\frac{94933808}{\frac{s}{2} + a_{SV3}}} = 136,4 \text{ MPa} \quad (81)$$

Kvadratický moment vůči ose y (Obr. 45)

$$J_y = 4 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot a_{SV3}^3 \cdot l_{SV3} + a_{SV3} \cdot l_{SV3} \cdot \left(\frac{s + a_{SV3}}{2} \right)^2 \right] \quad (82)$$

$$J_y = 4 \cdot \left[\frac{1}{12} \cdot 8^3 \cdot 534 + 8 \cdot 534 \cdot \left(\frac{141 + 8}{2} \right)^2 \right] = 94933808 \text{ mm}^4$$



Obr. 45 Detail sklopeného výpočtového svaru

Výsledné napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}^{F_{dmax}} + \tau_{\perp}^{M_o}}{k_3}\right)^2} \quad (83)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\left(\frac{45,95 + 136,4}{0,9}\right)^2} = 202,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} \leq \beta \cdot \frac{R_e}{k_s} = 1,04 \cdot \frac{430}{1,7} = 263 \text{ MPa}$$

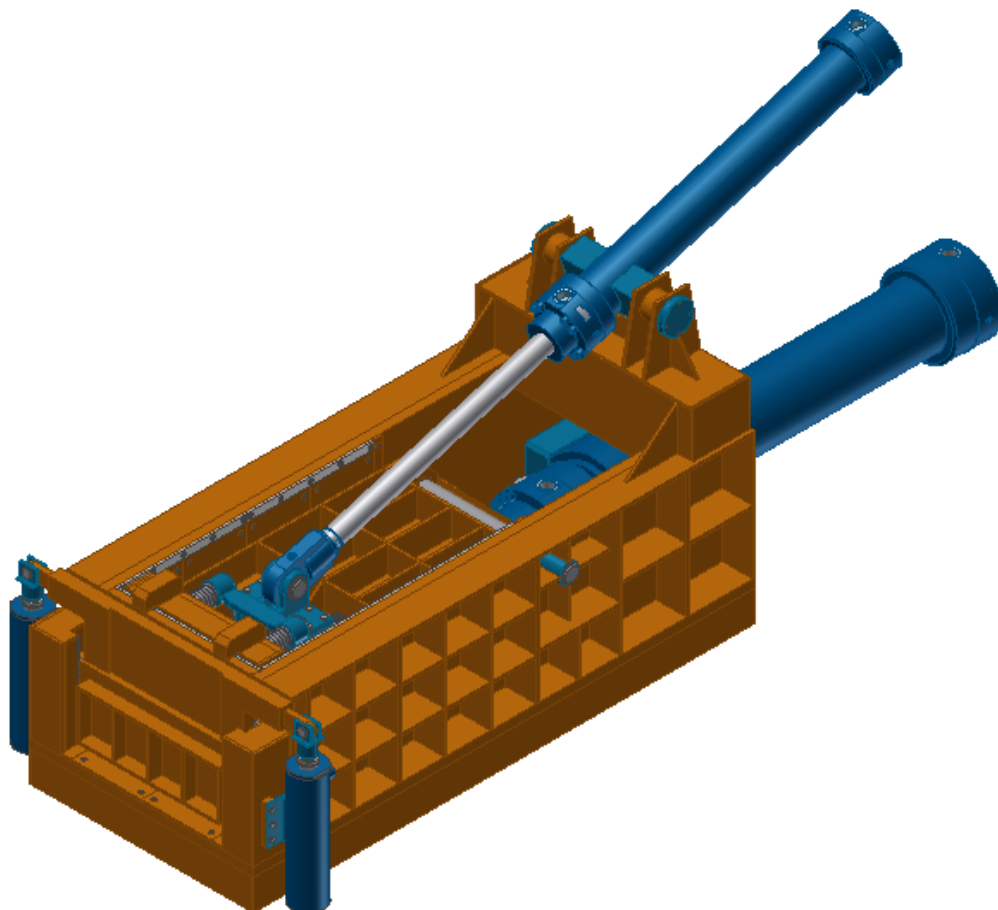
$$\sigma_{red} = 202,6 \text{ MPa} \leq 263 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \text{podmínka vyhovuje}$$

8.3 Uložení hydraulických válců hradítka

Hradítko obsahuje dva hydraulické válce, které jsou pomocí uchycení přišroubované ke sloupkům lisovní komory (viz výkres č. DP_00_JUC0017 Pozice 38, 39).

9 Konstrukčně projekční návrh

Na obr. 46 se nachází celkový pohled navrženého paketovacího lisu. Celek tvoří jednotlivé konstrukční uzly popsané v dřívějších kapitolách. Tyto uzly se vyskytují ve výkresu č. DP_00_JUC0017 na pozicích 1, 2, 3, 4, 5. V tomto výkrese sestavy jsou také uvedené projekční rozměry.



Obr. 46 konstrukční návrh paketovacího lisu

10 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout paketovací lis, sloužící k paketování lehkého kovového odpadu. Podle zadaných parametru, hmotnosti paketu, průřezu paketu, střední měrné hmotnosti paketu a počtu stupňů lisování jsem navrhnul paketovací lis.

V první části práce jsem se seznámil s technologií paketování a vývojem paketovacích lisů. Zaměřil jsem se na dvoustupňové lisy, vyskytující se na trhu, přičemž jsem jednotlivé typy doplnil obrázkem a stručným popisem.

Před samotnou realizaci návrhu následoval výběr nejvhodnější varianty, kde jsem si určil dvě možná řešení a po zvážení kladů a záporů vybral pomocí metodického postupu vhodnější z nich.

Abych mohl začít navrhovat jednotlivé konstrukční uzly, vypočetl jsem rozměry lisovní komory na základě zadaných hodnot a určil jednotlivé silové parametry pomocí tlaku zvoleného ze smluvní křivky. Jedná se o síly působící na stěny a dno komory a potřebné síly k volbě hydraulických válců lisovního víka, dolisu a hradítka. Hydraulické válce jsem volil od tradiční firmy Bosch Rexroth, přičemž některé válce byly upravené podle vhodnosti uchycení.

Prvním konstrukčním uzlem, kterým jsem se zabýval, byla lisovní komora tvořena převážně z plechů, svařená metodou MAG. Součástí komory je také příčník s ložiskovými tělesy a sloupky s vodicími lišty, sloužící pro vedení hradítka. Komora obsahuje namáhané svary působením hydraulických válců. Tyto svary jsem početně zkontroloval, přičemž výsledné napětí odpovídaly podmínce a nepřekročily napětí dovolené.

Následně jsem navrhnul zbylé konstrukční uzly. Jedná se o lisovní víko, hradítko, zámek lisovního víka a tlačku. Všechny zmíněné uzly jsem zkontroloval pomocí MKP. Opět v žádné pevnostní kontrole nedošlo k překročení dovoleného napětí. Početně jsem poté kontroloval čepy zámku, uložení hydraulického válce víka a hradítka. Ukázalo se, že v určitých situacích vznikají poměrně značné ohybové napětí, a proto jsem použil odolnější materiál a to 13 180. Další vybrané díly, například ložiska firmy SKF, nebo lineární vedení byly také zkontrolované početně.

Seznam použité literatury

- [1] SÝKORA, Miroslav a kol.: *Výrobní stroje a zařízení pro zpracování odpadu*. Interní učební text. VŠB-TU, 1996
- [2] JOHN, Miloslav a Jiří KSANDR. *Zpracování ocelového amortizačního šrotu*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.
- [3] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2., dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005. ISBN 80-7361-011-6.
- [4] KLEPŠ, Zdeněk a Jiří NOŽIČKA a kol. *Technické tabulky*. 2. vydání. Praha: SNTL, 1986.
- [5] NĚMEČEK, Miloš. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů: spoje*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0050-0.
- [6] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [7] KALÁB, Květoslav. *Příručka – svarkonstrukce* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.347.vsb.cz/files/kal01/prirucka-svarkonstrukce.pdf>
- [8] DEPOSITPHOTOS. *Obrázek šrotiště* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://cz.depositphotos.com/5673949/stock-photo-scrap-yard.html>
- [9] ECPLAZA. *Paketovací lis řady YD* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://hydraulicmachinery.en.ecplaza.net/scrap-metal-baler--347100-2743321.html>
- [10] ADVANCE HYDRAU - TECH. *Dvojčinný paketovací lis* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.advancehydrautech.com/product-category/metal-recycling-machines/baler/double-action-baler/>
- [11] CSJ. *Paketovací lis JPY81-135A* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://en.csj-baler.com/index.php?m=Products&types_id=6&t_son_id=24&a=view&id=161
- [12] JIANGSU HYDRAULIC. *Paketovací lis Y81q-160* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://jiangsudongfang.en.made-in-china.com/product/FqrJYEfGJCpZ/China-Y81q-160-Hydraulic-Scrap-Metal-Compressed-Baler.html>

- [13] ADVANCE HYDRAU - TECH. *Paketovací lis s manuálním hradítkem* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.advancehydrautech.com/double-compression-manual-door>
- [14] ENERPAT. *Paketovací lis EEI35S* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.enerpat.com/products/scrap-metal-balers/scrap-aluminium-balers-ee135s.html>
- [15] REXROTH BOSCH GROUP. *Hydraulické válce* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/ics/Vornavigation/Vornavi.cfm?Language=EN&DisplayType=tile&Region=none&VHist=Start,p537326,p537327&PageID=p537595>
- [16] T.E.A TECHNIK. *Lineární vedení s oběhovými kuličkami HG* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/obeh-kulickami-hg/>
- [17] BÖHLER UDDEHOLM. *Svařovací materiály Böhler* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.bohler-uddeholm.cz/media/nejpouzivanejsi_materialy_2015_2.pdf
- [18] ARKOV. *Kluzná pouzdra SKF* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://zbozi.arkov.cz/dl/579/CZ_Katalog_kluznych_pouzder_SKF.pdf.html
- [19] KONIG RANKSTAHL. *Silnostěnné bezešvé ocelové trubky* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.ocel.cz/209-silnostenne-ocelove-trubky.html?menu=209>
- [20] FERONA. *Velkoobchod s hutním materiálem* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/sortiment/sortiment.php>
- [21] GAMA OCEL. *Otěruvzdorné a vysokopevnostní plechy* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.gamaocel.cz/4861/hardox/>
- [22] CONVERTER. *Součinitel smykového tření* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm>
- [23] E-KONSTRUKTÉR. *Výpočet pružin* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/137-vypocet-pruzin/138-pruzina-vinuta-tlacna/148-navrh-tlacne-pruziny-dle-rozmeru>

Seznam příloh

Příloha 1	Výkres – Paketovací lis – DP_00_JUC0017
Příloha 2	Výkres – Lisovní komora – DP_01_JUC0017
Příloha 3	Výkres – Lisovní víko – DP_02_JUC0017
Příloha 4	Výkres – Hradítko – DP_03_JUC0017
Příloha 5	Výkres – Tlačka – DP_04_JUC0017
Příloha 6	Výkres – Rám zámku – DP_05_JUC0017
Příloha 7	Výkres – Pojišťovací čep – DP_06_JUC0017
Příloha 8	Datový nosič CD